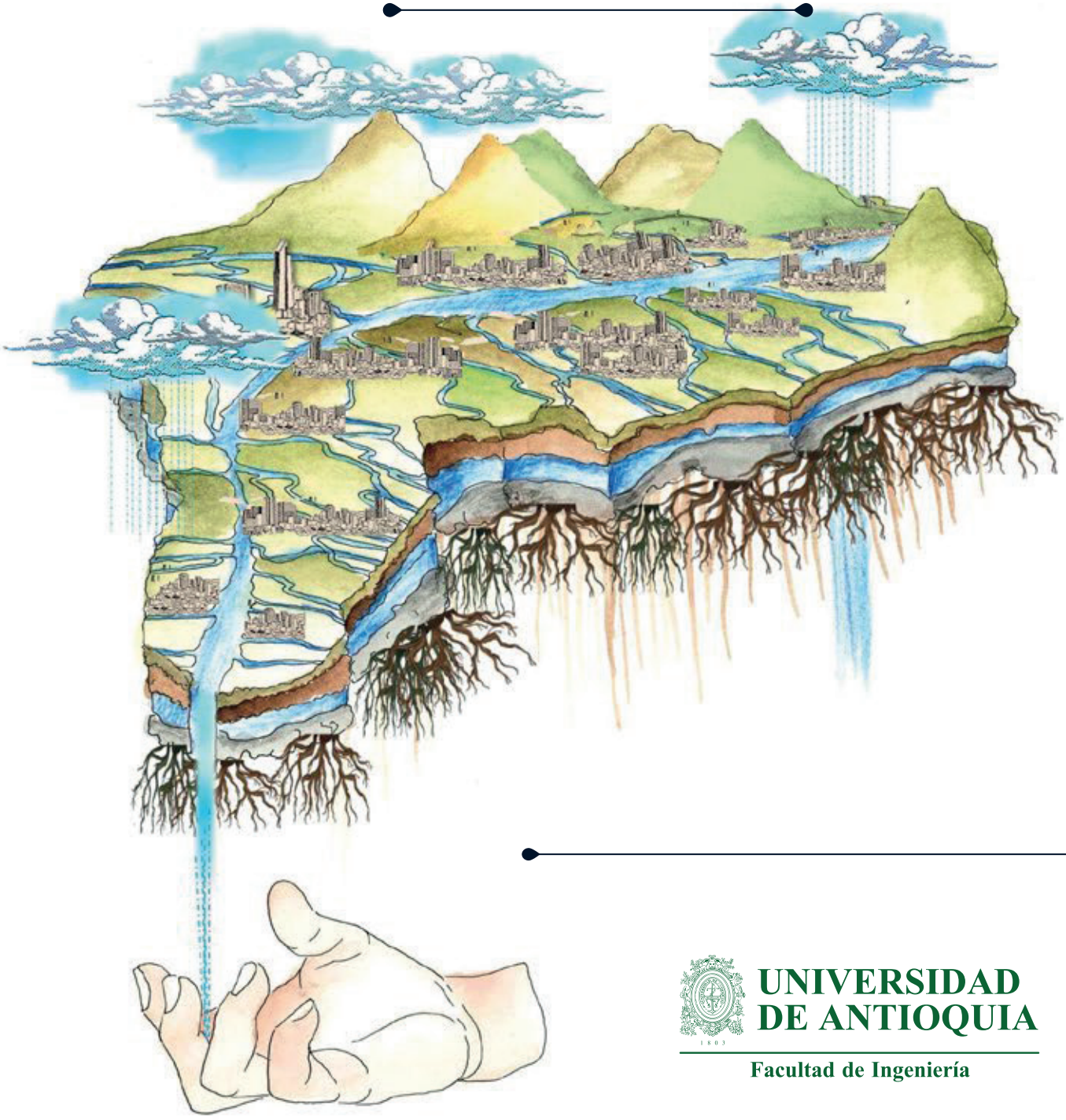
Diálogo por el conocimiento y para la gestión de las aguas subterráneas en el Valle de Aburrá



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
1803
Facultad de Ingeniería

Diálogo por el conocimiento
y para la gestión de las
aguas subterráneas en
el Valle de Aburrá

Diálogo por el conocimiento y para la gestión de las aguas subterráneas en el Valle de Aburrá

Rector Universidad de Antioquia
John Jairo Arboleda Céspedes

Decano de la Facultad de Ingeniería
Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe del Centro de Extensión Académica de la Facultad de Ingeniería
Mauricio Andrés Correa Ochoa

Coordinación Editorial
Teresita Betancur Vargas, Profesora titular de la Universidad de Antioquia

Comité científico

Julio César Saldarriaga Molina, Profesor asociado de la Universidad de Antioquia

Camilo César Castro Jiménez, Profesor asistente de la Universidad de Antioquia

Edwin Fabián García Aristizábal, Profesor asociado de la Universidad de Antioquia

María Consuelo Vargas Quintero, Profesional especializada del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Doris Liliana Otálvaro Hoyos, Profesional especializada del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Luis Filipe Tavares Ribeiro, Profesor asociado del Instituto Superior Técnico de Lisboa

Carlos Molano Cajigas, Profesor titular, Universidad de Los Andes, Vicepresidente de la AIH (Asociación Internacional de Hidrogeólogos)

Comité editorial

Ángel José Cardona Pérez, MSc en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Antioquia.

Deisy Yurani Rivera Arias, Comunicadora de la Universidad de Antioquia.

Carlos Guillermo Mora Aucú, Comunicador de la Universidad de Antioquia

Johan Camilo Duque Duque, MSc en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Antioquia

Cristina Martínez Uribe, MSc Geotecnia de la Universidad de Brasilia

Diseño gráfico y producción

Punto Tres Diseño y Publicidad

ISBN: 978-958-5526-01-3

Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia

Centro de Extensión Académica CESET

Contenido

3 Presentación
Teresita Betancur Vargas, Jesús Francisco Vargas Bonilla

7 Del movimiento del agua y su tránsito hasta las capas acuíferas en un mundo cambiante
Juan Camilo Villegas Palacio

11 Suelos, geología y estructuras geológicas del Valle de Aburrá y su influencia en los cursos de aguas superficiales y subterráneas
Alba Nury Gallego Hernández

15 Caracterización del Sistema Hidrogeológico del Valle de Aburrá
Miriam Benjumea Hernández

23 Una primera aproximación hacia la Modelación Numérica del flujo de aguas subterráneas en el Valle de Aburrá
Cristina Martínez Uribe, Camilo Duque Duque

33 Aproximación a la determinación de los rangos de nivel de fondo químico natural en el acuífero libre del Valle de Aburrá
Juliana Ossa Valencia

41 Serranía Las Baldías, territorio ambientalmente estratégico del municipio de Bello
Ana Felisa Guerra Jaramillo, Francisco Javier Cadavid González, Gildardo Elber Ibagón Vasco

49 Las aguas subterráneas en el municipio de Envigado: presente y futuro

María Teresa Mejía Salazar, Gabriel Fernando Ospina Botero, Jairo Alberto Ceballos Palacio

55 Aspectos legales para estudios hidrogeológicos en obras civiles. Reflexiones sobre las bondades de su aplicación.

María Victoria Vélez Otálvaro

63 Gestión del recurso hídrico subterráneo

Connie Paola López Gómez, Alba Mery Upegui Posada

69 Planeación participativa y diálogo de saberes para la gestión de las aguas subterráneas. Algunos casos de estudio en Antioquia y La Guajira.

Deisy Yurani Rivera Arias , Carlos Guillermo Mora Aucú, Ángel José Cardona Pérez

75 El pago por servicios ambientales como herramienta para el manejo de las zonas de recarga en el Valle de Aburrá

Vanessa García Leoz

87 El Valle de Aburrá como un ecosistema urbano y su relación con el agua subterránea

Andrea Velásquez Uribe, Byron Alberto Castañeda Acevedo

93 Monografía Geológica

Álvaro Zapata Zapata

Presentación

Teresita Betancur V.
Profesora titular Universidad de Antioquia
teresita.betancur@udea.edu.co

Jesús Francisco Vargas B.
Decano Facultad de Ingeniería
decano.ingeniería@udea.edu.co

Diríamos que Medellín y el Valle de Aburrá están lejos de ser una de aquellas ciudades que se suman a esa cifra que indica que más del 50% de las urbes del mundo se abastecen desde acuíferos. Para el Valle de Aburrá, la importancia de las aguas subterráneas tal vez no reside en su uso actual, sin embargo, este territorio depende, para el abastecimiento público, en más de un 80% de fuentes hídricas externas a la cuenca en la que habitan más de 3.000.000 de habitantes. Es también de fundamental importancia destacar que el entorno del Valle de Aburrá constituye un ecosistema urbano en el que se entretejen un sin fin de procesos y flujos de materia y energía que soportan un complejo metabolismo, del cual hacen parte páramos, ríos, humedales y acuíferos. En este contexto las aguas subterráneas del Valle de Aburrá cumplen una función ecosistémica y proporcionan diversos servicios ambientales, de abastecimiento, de soporte y culturales.

Desde el año 2002, mediante estudios pioneros realizados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CORANTIOQUIA, Empresas Públicas de Medellín y por la Universidad de Antioquia, se ha venido consolidando el conocimiento del sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá. Dentro de cada una de las iniciativas de estudio se ha reconocido la importancia del conocimiento y saberes que tienen diferentes actores sociales que habitan y transitan por este territorio. Ese saber se ha potencializado cada vez más a partir de la consolidación de procesos participativos y eventos académicos. La Universidad ha sido jalonadora de la realización de congresos y foros nacionales y regionales en torno al agua subterránea, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha reivindicado la importancia de implementar procesos participativos para la gestión de acuíferos.

En diferentes escenarios hemos expuesto que la participación para la gestión se debe soportar en el diálogo de saberes, la transferencia de información y la apropiación social del conocimiento. Después de varios años de ejercer e impulsar este paradigma en el Valle de Aburrá, consideramos propicio plasmar en una memoria impresa algunos resultados consolidados de este trasegar por el mundo de las aguas subterráneas, para hacerlo se convocó a un amplio público a escribir, con la intención de comunicar su saber, su percepción, su vivencia o su opinión. De esta manera se lograron reunir aportes de investigadores, profesores, profesionales y actores sociales que tienen algún rol en relación con las aguas subterráneas. Con el propósito de obtener un resultado de buena calidad técnica que garantizara la transmisión de mensajes claros y adecuados, todos los trabajos propuestos fueron evaluados inicialmente por el comité editorial y luego por el comité científico.

Como testimonio de este diálogo, los trabajos que aquí se exponen no representan posiciones institucionales. En cada caso los autores son responsables de los conceptos, ideas y opiniones consignados en el manuscrito. Aun cuando hay textos que encaran características físicas de sistemas naturales, este no es un trabajo de divulgación científica, el formato de la convocatoria daba pie a estilos libres, por eso hay también revisiones bibliográficas, ensayos, reflexiones, opiniones e incluso una memoria vivencial.

El orden de presentación fue sugerido por el comité editorial. Inicialmente se presentan las contribuciones que hacen referencia directa a la estructura del medio físico que configura un sistema hidrogeológico (Villegas; Gallego; Benjumea; Martínez y Duque; y Ossa). A continuación, se presentan dos visiones locales focalizadas en el municipio de Bello, al norte (Guerra, Cadavid e Ibagón) y en Envigado, al sur (Mejía, Ospina y Ceballos) del Valle de Aburrá. Seguidamente, se da paso a temas legales y de gestión (Vélez; López y Upegui) incluyendo temas de participación (Rivera, Mora y Cardona) y servicios ambientales (García). Finalmente se da una primera pincelada al contexto que tiene el Valle de Aburrá como ecosistema urbano (Velásquez y Castañeda) y se da cabida, para cerrar, a una memoria vivencial de un profesional con vasta experiencia y trayectoria en la hidrogeología regional (Zapata).

Esperamos que este texto cumpla con el propósito de ampliar la perspectiva de la condición de recurso estratégico que tienen las aguas subterráneas en nuestra región.

Finalmente, reiteramos el reconocimiento al papel protagónico que ha tenido el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en la generación de conocimiento para la gestión de este valioso bien natural. Mediante convenio 1050 de 2016, se llevó a cabo el propósito de proponer la formulación del Plan de Manejo Ambiental de Acuífero.

Del movimiento del agua y su tránsito hasta las capas acuíferas en un mundo cambiante

Juan Camilo Villegas P.
Universidad de Antioquia
camilo.villegas@udea.edu.co

En el estudio del movimiento del agua en la tierra hemos transitado muchos caminos. Hemos considerado su naturaleza mágica y, a partir de ella, hemos creído que aparecerá siempre, como por arte de magia al servicio del hombre. Más adelante, entendimos que su movimiento sigue unas claras reglas apoyadas en principios fundamentales de la física – aún concediéndole naturaleza mágica –. Aunque apoyados en la física, hemos seguido confiando en su disponibilidad infinita, en la permanente circulación que la hace disponible siempre. Hoy, cuando enfrentamos un planeta en cambio, un cambio más rápido e intenso que los demás conocidos en la historia de la tierra, nos enfrentamos a la realidad en la que se puede perder la mágica disponibilidad eterna.

Las leyes físicas que rigen el movimiento y circulación del agua siguen siendo fundamentalmente las mismas, el contexto en el que estas leyes ocurren ha cambiado y, por tanto, necesitamos entender los nuevos mecanismos dentro de los que se determina el movimiento y tránsito entre los diferentes medios en que el agua transcurre.

En principio, la atmósfera la, principal fuente de la que depende la disponibilidad de agua en la superficie y, por tanto, el agua subterránea. Hemos considerado el flujo de agua desde la atmósfera (en forma de lluvia principalmente), como un aporte permanente – con su estacionalidad definida y claramente entendida- y seguro a los demás componentes de superficie y subterráneos. Recientemente, hemos empezado a comprender que la disponibilidad en tiempo y en espacio puede estar alterada también por las variaciones que conocemos en la dinámica de la atmósfera. Más importante aún, estas variaciones pueden resultar de la combinación de alteraciones en mecanismos de circulación climática de gran escala que traen la lluvia hasta los continentes, pero también, y muy importante, como resultado de alteraciones producidas directamente por la mano del hombre sobre la superficie de la tierra. Siendo más específicos, recientemente se ha observado y documentado cómo los cambios en la cobertura vegetal, producto de la actividad humana (o del cambio climático mismo), pueden producir alteraciones en las dinámicas de la producción de lluvia. Más sorprendente (pero delicado) es que estos efectos se pueden producir remotamente, es decir, cambios en la cobertura vegetal que se producen en otros continentes pueden afectar nuestra lluvia local, y viceversa. Esto llama la atención sobre la necesidad de pensar en un manejo global del sistema terrestre, llama la atención sobre la vigencia de acuerdos globales para el entendimiento, adaptación y mitigación del cambio global, llama la atención sobre nuestra responsabilidad como electores de dirigentes con conciencia ambiental global, y que la consideran al momento de tomar decisiones sobre el manejo local y regional de los recursos.

Es precisamente en la escala local y regional (llamémoslo cuenca hidrográfica), donde la precipitación interactúa con la superficie para definir el curso del agua, una vez llega a tierra. Sin embargo, es necesario considerar que una proporción (en ocasiones significativa) de la lluvia no alcanza a llegar a la superficie (donde se decide su destino entre infiltración y escorrentía). Esta lluvia se queda almacenada, interceptada en la superficie de la vegetación y es devuelta a la atmósfera a partir de la evaporación. De cuánta y qué tipo de vegetación haya, además de cuánta, qué tan periódica y cuáles sean las características de la lluvia, depende la cantidad de lluvia que es interceptada. ¿Qué significará entonces que haya menos lluvia llegando a la superficie? Hace algunas décadas, esto se consideraba (y así se llamaba formalmente) una pérdida de lluvia para el sistema. Hoy, cuando nos vemos en la necesidad de re-visitar nuestra interpretación del movimiento del agua, entendemos que no es una pérdida. Nada en este ciclo es pérdida.

Esta agua evaporada eventualmente se convertirá en lluvia en otra región. Y hará parte de caudal y recarga (o nuevamente evaporación), en algún otro sitio, pero parte aún del ciclo hidrológico global.

Luego de desviarnos hacia la atmósfera (lo volveremos a hacer más adelante), debemos seguir con la superficie. El agua que alcanza a llegar a la superficie se divide, en términos generales, en dos grupos. Para definir esta suerte, entran en juego muchas variables y, por tanto, hay muchas posibles variaciones de este curso. Las características de la lluvia (su intensidad, su duración, su frecuencia) se mezclan con las características físicas del terreno (su pendiente, atributos geomorfológicos) y los atributos de suelo y vegetación para determinar qué proporción del agua lluvia infiltra y qué proporción escurre libremente por la superficie. El suelo es otro mundo. Sus características se definen desde su origen, su posición en el paisaje, la naturaleza de los materiales que lo formaron, su edad, su profundidad, la presencia de vegetación (o sus restos), la actividad de las plantas y otros organismos vivos, entre otras. Estas características determinan qué tanto y cómo se almacena el agua de lluvia en él, antes de ser usada por la vegetación o seguir transitando, en virtud de la gravedad hacia el almacenamiento profundo, con todas las complejidades que ello define. Hay ciertos límites en el almacenamiento, hay alguna proporción almacenada que es difícil de remover del suelo (se adhiere a los granos de suelo de manera tal, que ni la succión de las raíces ni la misma gravedad puede desprenderla). Por encima de esta cantidad, las plantas pueden aprovechar la cantidad que la atmósfera demande, siempre y cuando el suelo sea capaz de soportar esa demanda. Este proceso, por el que las plantas transportan agua (en contra de la gravedad) hacia la atmósfera, la transpiración, es un componente fundamental del balance hídrico terrestre y cada vez más notablemente apreciado como un componente importante en el transporte atmosférico de humedad y de la formación de lluvia en el interior de los continentes. ¿Cuánta agua pueden transferir las plantas entonces? En función de muchas cosas, pero entre ellas, la profundidad y densidad de las raíces, en combinación con las características del suelo, la complejidad del componente aéreo de las plantas y las condiciones de la atmósfera. Nada simple, pero cuantificable, en términos simples, nos hemos aproximado con alguna precisión a cuantificar los mecanismos que determinan esa transferencia, antes mágica, de agua entre compartimentos que la almacenan.

> “...HEMOS CREÍDO QUE APARECERÁ SIEMPRE, COMO POR ARTE DE MAGIA AL SERVICIO DEL HOMBRE...”

¿Por qué crecen súbitamente algunas corrientes inmediatamente después de los eventos de lluvia? ¿Cuándo y cómo ocurre esto? ¿Por qué aumentan los desastres asociados con avenidas torrenciales en épocas invernales, principalmente en las regiones más deforestadas? Parte de la respuesta a estas preguntas está relacionada con el mecanismo de formación de la escorrentía superficial directa. Cuando el agua no puede infiltrarse en la superficie, bien porque la velocidad a la que llega (intensidad de la lluvia) es mayor que la capacidad del suelo de transmitirla hacia su interior o bien porque los componentes que modulan esta diferencia de velocidades (como la vegetación y ca-

racterísticas físicas de la superficie han sido alteradas) llevan a que no pueda recibirse la cantidad que viene de la atmósfera. Esta agua es rápidamente transmitida hacia las corrientes superficiales y evacuada de las cuencas en forma de creciente, con las consecuencias sociales y económicas que conocemos y, más allá de ellas, consecuencias hidrológicas que tienen que ver con el mantenimiento de caudales base y, por supuesto, la recarga a acuíferos libres.

El tránsito del agua a través del suelo es lento y regulado, puede moverse en dirección a los acuíferos libres, como recarga directa o vía estructuras geológicas como recarga indirecta a otras formaciones acuíferas. El más simple de los tránsitos es aquel que ocurre en función de la gravedad, topografía y estructuras geológicas para alimentar el flujo base de las corrientes y mantener las fuentes superficiales de las que se abastecen muchas de nuestras comunidades. Un delicado balance entre atmósfera, superficie y sub-superficie en varios niveles mantiene la posibilidad de garantizar la disponibilidad de agua superficial de la que hemos gozado por tanto tiempo. Debemos preguntarnos ¿podemos seguir disfrutando de la misma disponibilidad en vista de los cambios en clima y superficie? ¿Debemos acudir a otras fuentes para el abastecimiento? ¿Cuál es la disponibilidad y sostenibilidad de esas fuentes? Ese es precisamente el propósito de este diplomado y el objeto de varios de los capítulos de esta memoria.

Sin embargo, una reflexión necesaria y la que debemos enfrentarnos conjuntamente los académicos y los tomadores de decisiones en el territorio es la de la incertidumbre sobre la disponibilidad del recurso hídrico (en términos de cantidad, calidad y temporalidad) para abastecer las necesidades humanas en un mundo cambiante. Muchos de los caminos que describimos en este texto para el agua están descritos en el conocimiento actual de los procesos hidrológicos, pero ese conocimiento y principalmente su aplicación en la gestión ambiental requiere adaptarse a la incertidumbre de la era actual de la Tierra, el Antropoceno, que nos impone retos necesarios para la construcción del desarrollo social y ambiental que se materialice en la estabilidad de las comunidades en medio de la adaptación a los cambios que están ocurriendo en el planeta.

Suelos, geología y estructuras geológicas del Valle de Aburrá y su influencia en los cursos de aguas superficiales y subterráneas

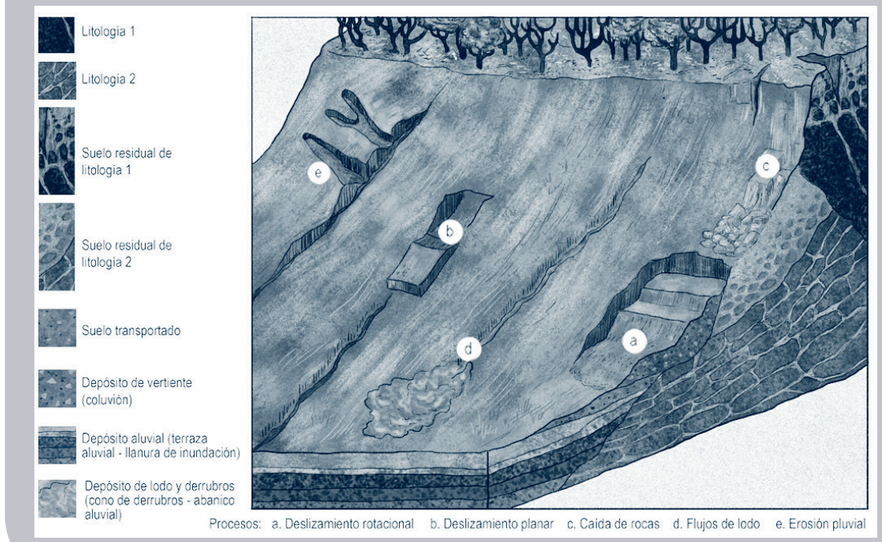
Alba Nury Gallego H.
Universidad de Antioquia
alba.gallego@udea.edu.co

La compleja interrelación entre suelos, rocas y topografía que se presenta en las laderas del Valle de Aburrá condiciona el transito superficial y subterráneo del agua; del mismo modo, la diversidad de procesos geológicos que tienen lugar en nuestras laderas (figura 1), desde procesos gravitacionales, erosivos, de acumulación de sedimentos imponen unas características únicas. con las cuales históricamente hemos tenido que mediar en busca de obtener el mayor beneficio y bienestar de las comunidades, ya sea por la necesidad de espacio para urbanizar, de áreas aptas para la industria, zonas de recreo o de protección. Sin embargo, el conocimiento que poseemos de nuestras laderas, a pesar de los muchos esfuerzos por articular el conocimiento, pareciera seguir disperso entre los entes públicos-gubernamentales, sociales y privados y no debemos pasar por alto las claras alertas que el medio nos da acerca de si un recurso tan vital como lo es el agua está recibiendo la atención que requiere; son alarmantes los indicadores de calidad de agua del río, sus descensos y aumentos en caudales, generación de procesos geológicos como erosión, deslizamientos y flujos desencadenados por las variaciones en cauces, no solo del río sino de todos sus afluentes, y finalmente, estado y uso de acuíferos del Valle de Aburrá (figura 1). En este texto se plantean algunos cuestionamientos, ante las complejas relaciones entre procesos geológicos, condiciones tectónicas y actividades antrópicas que conviven hoy en día en el Valle de Aburra. ¿No será necesario tomar una postura conservacionista en relación a la urbanización de nuestras laderas? Hasta que por los menos logremos realmente entender el efecto y límite de explotación y de aceptabilidad de riesgo de desencadenar procesos geológicos o pérdida y contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, inducida por nuestras obras.

Al observar un mapa geológico del Valle de Aburrá, por ejemplo, el mapa que hace parte de los estudios de microzonificación sísmica del Valle, que tal vez contiene la cartografía más detallada que se ha realizado de forma unificada a toda el área metropolitana, es claro que habitamos unas laderas con una historia geológica compleja que involucra desde las rocas más antiguas, rocas metamórficas que hacen parte del basamento de la cordillera Central, con innumerables cuerpos ígneos intrusivos, hasta rocas volcánicas y sedimentarias, provenientes de formaciones típicas del occidente del país; estas últimas, se entiende que son consecuencia de la actividad tectónica, que las arrastró desde occidente, cruzando a la ladera occidental de la cordillera Central. Los límites entre estas unidades de roca implican cambios importantes en sus propiedades físicas y químicas, aun más, cuando los contactos entre roca son controlados por fallas geológicas, la variación en las propiedades de cuerpos de roca consecutivos pueden ser realmente diferentes, sumado a esto y teniendo presente que los patrones de fracturamiento en las rocas, por ejemplo estructuras geológicas como diaclasas, foliación, estratificación, etc., inducen a cambios en las propiedades de los cuerpos rocosos, podemos comprender que en la medida que tenemos mayor variedad de rocas, también tendremos una respuesta diferente ante los esfuerzos tectónicos a los que han sido sometidas y como consecuencia, propiedades de resistencia diferentes que serán un punto de partida para comprender la variabilidad del suelo de nuestras laderas (figura 1).

Para sumar complejidad a este marco geológico, encontramos que, cubriendo la roca sana y los diferentes contactos entre litologías se han desarrollado espesos perfiles de suelo (figura 1), producto de la meteorización, descomposición física y química de las rocas, típica en zonas tropicales; de modo que en la actualidad en el Valle de Aburra encontramos unas rocas duras, sobre ellas unos perfiles de suelo con espesores muy variables que ocasionalmente pueden alcanzar hasta 90 m de profundidad. De igual manera, dadas las condiciones climáticas imperantes en el Valle los procesos erosivos y gravitacionales son intensos y responsables de arrastrar sedimentos, ya sea con la ayuda de un agente de transporte o solo como consecuencia de la gravedad, sedimentos que son acumulados en las partes más bajas de las laderas o entregados al río (figura 1). Otro componente trascendental que se suma a las características geológicas del Valle es la geomorfología, las características morfológicas del valle se deben entender como la respuesta tanto del levantamiento de la cordillera, proceso tectónico, como de los procesos externos que desgastan y que en conjunto con la dinámica de las corrientes de agua, moldean el paisaje y definen no solo áreas estables y aptas para los asentamientos humanos sino también áreas altamente vulnerables, que son afectadas negativamente por procesos naturales. El Valle de Aburrá presenta altitudes que oscilan entre 1.300 y casi 2.700 msnm en un valle que puede alcanzar una amplitud máxima de 10 km, con laderas intensamente incisadas por cauces de agua que conforman una compleja red de drenaje que alimenta su eje central que es el río Medellín.

Figura 1. Esquema hipotético de un fragmento de una de las laderas del Valle de Aburrá. En este esquema se resalta: diferentes litologías y su contacto; los suelos residuales diferentes que genera cada litología; un suelo transportado, cubierto posteriormente por un coluvión; depósitos aluviales del río Medellín interactuando con los depósitos de vertiente, y finalmente diversos procesos gravitacionales y erosivos, típicos de nuestras laderas.


Litología 1
Litología 2
Suelo residual de litología 1
Suelo residual de litología 2
Suelo transportado
Depósito de vertiente (coluvión)
Depósito aluvial (terraza aluvial - llanura de inundación)
Depósito de lodo y derrubros (cono de derrubros - abanico aluvial)
a
b
c
d
e
Procesos: a. Deslizamiento rotacional b. Deslizamiento planar c. Caída de rocas d. Flujos de lodo e. Erosión pluvial

Una de las problemáticas ambientales que afronta la ciudad y que está estrechamente relacionada con la geología es comprender desde diferentes ópticas la dinámica del agua, no solo la que observamos superficialmente; debemos comprender que existe una clara relación natural entre la forma del valle, sus cuencas, forma de los cauces, volumen de agua que por precipitación recibe el valle, entre otros, una vez intervenimos el valle, y si producto de nuestra urbanización se genera un desequilibrio entre precipitación, suelos, forma y longitud de los cauces, etc., la respuesta natural será buscar nuevamente el equilibrio, el cual implica para nosotros una mayor probabilidad de deslizamientos, inundaciones, sequias, cambio de caudales, etc. todos ellos proceso geológicos naturales. No es difícil reconocer algunas características que merecen ser discutidas: 1. La urbanización del valle y por ende la impermeabilización de sus laderas; 2. Cambios en los regímenes climáticos que concentran las precipitaciones en unos periodos de tiempo diferentes a los habituales; 3. Una población creciente con necesidad de abastecimiento de agua potable y así mismo de recolec-

ción de aguas residuales, son entre otras problemáticas que deben ser abordadas de forma interdisciplinaria y con un alto grado de comprensión del lugar que habitamos. Impermeabilizar una ladera conlleva a tener mayor escorrentía y menos infiltración, lo cual puede generar: inundaciones, desestabilización de las laderas y consecuentemente desencadenamiento de deslizamientos y flujos torrenciales, agotamiento del recurso subterráneo de agua y como consecuencia agotamiento del agua superficial en periodos secos, etc. Asociado a un indiscutible calentamiento global, tenemos eventos de precipitación no registrados antes en la historia y una población para la cual no fue proyectado nuestro territorio; esto impone retos de infraestructura, de ingeniería, ambientales, etc.

De los conceptos geológicos tratados en los párrafos anteriores se quiere resaltar la idea de que el agua, cuando circula por las rocas, o más bien, a lo largo de sus estructuras, lo hace con una dinámica diferente al agua que circula por los suelos residuales y estos a su vez diferente cuando circula por los depósitos. De igual modo es importante cuestionar cómo es el tránsito de agua, relación precipitación-inflitración-escorrentía en las zonas que aún no han sido urbanizadas y cómo ha cambiado su dinámica en aquellas zonas ya altamente intervenidas; qué conocemos de los cambios en los flujos de agua subterráneos.

A pesar de los múltiples esfuerzos en articular el conocimiento privado con el público, el grado de desconocimiento de la dinámica de los cursos de agua en nuestros suelos y rocas y su respuesta ante ciertos eventos naturales o antrópicos sigue siendo desconocido; no contamos con modelos precisos alimentados con suficiente cantidad de datos que nos permitan modelar cual es la respuesta conjunta de nuestras laderas ante el uso que les estamos dando. Falta articular información geológica, geotécnica y ambiental de nuestro entorno para potencializar el uso de nuestro territorio de modo que garanticemos la estabilidad ambiental del territorio y comprender con un mayor grado de certeza cómo estamos comprometiendo el recurso agua en la medida que continuamos urbanizando y atendiendo la demanda de espacio a la que está sometida nuestra ciudad. Vale la pena mencionar que a lo largo de la historia de urbanización del valle se optó en cierto momento por la ubicación de barrios completos sobre cursos de agua; cursos de agua que posteriormente fueron desviados en procura de minimizar el riesgo de la población posterior a las obras de mitigación, ¿qué conocemos de lo que esto implica para toda la ladera? A pesar de la legislación y de entender que los cursos de agua permanente se deben respetar, así como la cobertura vegetal asociada, es común tener la percepción, todavía hoy día, de que las quebradas ya no están en sus cursos habituales debido en buena medida a la proliferación de infraestructura, algunas cumpliendo con toda su reglamentación otras no.

Sin desconocer los esfuerzos que en materia de ingeniería aportan a la organización del territorio, y teniendo muy presente que la diversidad de procesos geológicos genera una amenaza importante a la infraestructura y bienestar de la ciudad y que en ciertas condiciones, especialmente por el uso que le damos a las laderas como zonas urbanizadas, debemos trabajar en identificar condiciones críticas respecto a los cauces de agua, ya sea superficiales o subterráneos y mientras esto se consigue, regirnos por una conducta conservacionista y tener mucha prudencia en la organización y aceptación de urbanización desaforada ya que en realidad no es tan claro el comportamiento de la ladera en conjunto. Lo que funciona en una ladera puede no funcionar en otras. En cuanto a los cauces de agua, se puede entender por estabilidad, cursos de agua en óptimas condiciones, garantizar la recarga de acuíferos, no solo porque es un recurso que se explota industrialmente en nuestra ciudad, sino por la necesidad constante de mantener cursos de agua en la ciudad en procura de movilizar aguas residuales, que de quedar atrapadas en el valle, generarían serios problemas de salubridad.

Caracterización del Sistema Hidrogeológico del Valle de Aburrá

Miriam Benjumea H.
Profesional independiente
experta en Planeación
mbenju@gmail.com

Desde 2001 se vienen realizando estudios con el fin de conocer la dinámica de las aguas subterráneas del Valle de Aburrá. Una primera aproximación de un modelo hidrogeológico conceptual que permitiese explicar el comportamiento de los acuíferos, se obtuvo en el marco del estudio "Inventario de Aguas Subterráneas del Valle de Aburrá" realizado por HIDROGEMA en 2001. En este estudio se propuso una primera clasificación de las unidades hidrogeológicas que conforman el sistema acuífero del Valle de Aburrá. Más adelante, en 2002, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá realizó un segundo estudio que permitió avanzar en la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual de los acuíferos del Valle de Aburrá, redefiniendo las unidades hidrogeológicas propuestas en 2001.

En 2008, la Universidad Nacional de Colombia en convenio con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ejecutó el estudio "Actualización del inventario de captaciones de agua subterránea". En este estudio se hizo el registro de los puntos de agua localizados en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá describiendo su estado, tipo de captación, uso, legalidad de la extracción y su localización. La Universidad Nacional recomiendó la importancia de conformar una red de monitoreo.

Entre 2011 y 2012, se ejecutó un estudio mediante el cual se determinaron y delimitaron zonas de recarga al sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá y se propusieron medidas para su manejo y protección. En este estudio, además de definir una metodología que permite delimitar y categorizar las zonas de recarga, se ajustó y actualizó el modelo hidrogeológico conceptual en los municipios de Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa. Posteriormente, en 2013, la Universidad de Antioquia en convenio con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá –AMVA- replicó este estudio en la zona centro y sur del Valle de Aburrá. Simultáneamente con la realización de estos estudios se hicieron tareas de monitoreo hidrogeológico, emprendidas desde 2010 en el marco del proyecto de RedRío, el cual ha permitido avances importantes en el conocimiento de la dinámica del sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá.

El conocimiento generado desde 2001, se integró en el Diagnóstico del Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Valle de Aburrá, que inició su primera etapa en 2014 mediante la firma del convenio 368 de 2014 en el marco del programa RedRío. En esta etapa del PMAA se abordan las fases de Aprestamiento y de Diagnóstico definidas en la Guía Metodológica del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible publicada en 2014. También, en el marco del programa de RedRio mediante el convenio interadministrativo 1050 de 2016, se realiza la segunda y última etapa del Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Valle de Aburrá, en la cual se abordan las fases de Formulación, Ejecución, Seguimiento y Evaluación.

1. Localización del área de estudio

El sistema hidrogeológico objeto de estudio se localiza en la subregión del Valle de Aburrá, la cual está conformada por 10 municipios: Caldas, Itagüí, La Estrella, Sabaneta, Envigado, Medellín, Bello, Girardota, Copacabana y Barbosa. En este territorio tienen jurisdicción dos autoridades ambientales: el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, como autoridad ambiental urbana y CORANTIOQUIA, como corporación autónoma regional.

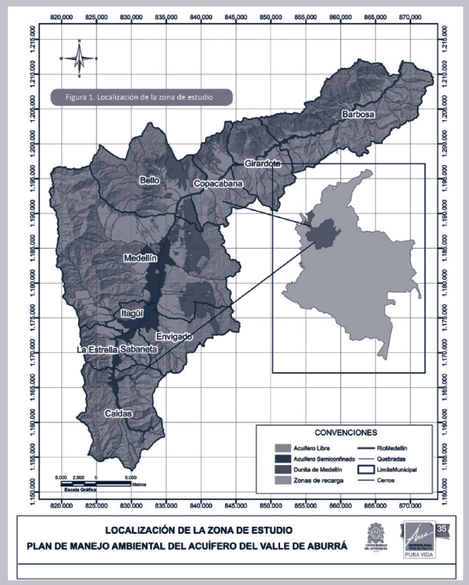
Esta área geográfica hace parte de la cuenca natural del río Aburrá-Medellín, que se ubica en el centro del departamento de Antioquia y el río recorre el valle de sur a norte, desde su nacimiento en el Alto de San Miguel (Caldas) a unos 1.800 ms.n.m., hasta la confluencia con el río Grande, a partir de este punto se denomina río Porce. En la figura 1 se presenta la localización de la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín.

El área de la cuenca del río Aburrá - Medellín está enmarcada en una zona muy compleja geológicamente, con presencia principalmente de rocas metamórficas e ígneas que varían cronológicamente en edades geológicas desde el Paleozoico hasta el Cretáceo y por depósitos recientes de diferente índole. A esto se suma la presencia de numerosas estructuras (fallas) geológicas que atraviesan la cuenca, principalmente en su costado sur occidental, con tendencia norte–sur y con menos ocurrencia hacia la parte norte y oriental de la cuenca (Universidad de Antioquia y AMVA, 2015).

2. Identificación de problemáticas en torno al acuífero del Valle de Aburrá

En la fase de diagnóstico para el PMAA realizada en 2015 por la Universidad de Antioquia y el AMVA, se realizó, siguiendo los lineamientos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la caracterización del sistema acuífero y de las condiciones socioculturales de la población asociada, con el fin de elaborar o actualizar la línea base de oferta y demanda de agua subterránea, identificar los conflictos y problemáticas por uso de este recurso hídrico, analizar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación e identificar las fuentes potenciales de contaminación, entre otros aspectos (MADS, 2014). Como síntesis del Diagnóstico se hace la identificación de las amenazas o problemáticas, en la cual se interrelacionan el subsistema físico y el sociocultural, que conforman el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá.

Figura 1. Localización del Acuífero del Valle de Aburrá.



Fuente: Aguas subterráneas: bien natural en un ambiente urbano. Diagnóstico para la formulación del Plan de Manejo Ambiental de Acuífero del valle de Aburrá (Universidad de Antioquia y Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2015).

2.1 Modelo Hidrogeológico Conceptual

El Modelo Hidrogeológico Conceptual –MHC–, que se sustenta en las características físicas del territorio, comprende la identificación y delimitación superficial y en profundidad de las unidades hidrogeológicas, la determinación de fuentes, áreas y cálculo de la recarga, la definición de la red de flujo subterráneo y el conocimiento de las propiedades hidráulicas y de calidad del agua. Un MHC permite determinar la vulnerabilidad intrínseca, mientras la caracterización completa del sistema hidrológico se precisa para poder evaluar oferta y disponibilidad (Universidad de Antioquia y AMVA, 2015).

El sistema hidrogeológico de la cuenca del río Aburrá – Medellín está

conformado por tres unidades acuíferas (Figura 1):

- El acuífero libre de Valle de Aburrá: Conformado por los depósitos aluviales del río Aburrá - Medellín y sus afluentes y los depósitos de vertiente, categorizados como flujos de lodo y escombros con edades del Neógeno o Cuaternario. Texturalmente estos depósitos están constituidos por gravas, arenas y cantos en matriz areno-arcillosa gradando a arcillosa hacia la base, con presencia de lentes de grava y arcilla.
- El acuífero semiconfinado del Valle de Aburrá: Conformado por depósitos de origen aluvial, separados del acuífero libre por una capa sellante de carácter arcilloso. El acuífero semiconfinado estaría localizado en la parte central y sur del Valle, está conformado por gravas, arenas y cantos en matriz arcillo-arenosa con pequeños lentes de arena y/o arcilla; aún no se tiene suficiente información para modelar con certeza la geometría de esta unidad.
- Acuífero de la Dunita de Medellín: El grado de fracturamiento de esta unidad de roca, sumado a la aparente condición de pseudokarst que se registra en algunos sectores (Universidad de Antioquia y AMVA, 2012) y algunos datos de caudal reportados en afloramientos y obras de control geotécnico, indican que en la Dunita de Medellín se podría estar almacenando un importante volumen de agua subterránea, que podría llegar a ser utilizable con fines de abastecimiento en algunos sectores del área urbana o rural de los municipios de Bello, Medellín o Envigado. Las bondades de la Dunita de Medellín, como formación acuífera, no han sido exploradas.

Para la determinación de las potenciales áreas de recarga en el Valle de Aburrá se tiene como hipótesis la existencia de tres posibles fuentes de recarga: i) una recarga distribuida en las superficies libres donde afloran las unidades acuíferas, ii) la interacción hidráulica que existe entre los principales cuerpos de agua superficial, como lo son el río Aburrá-Medellín y sus principales afluentes, y iii) la recarga proveniente de los aportes de flujos regionales, a partir de las rocas encajantes que presentan permeabilidad secundaria.

En las áreas donde los acuíferos afloran en superficie y no han sido impermeabilizados por acción de los procesos de urbanización, es propicia la recarga directa, ella ocurre a tasas variables dependiendo de las condiciones texturales de la zona no saturada. Según variaciones piezométricas, puede presentarse puntual y temporalmente aportes de agua al acuífero desde corrientes o cuerpos de agua. Las áreas donde afloran las rocas duras, en virtud de su manifestación geomorfológica, grado de meteorización y afectación estructural, representan unidades a través de las cuales se registra recarga mediante flujos laterales a los acuíferos del fondo del Valle; según la favorabilidad que éstas características le imprimen a las diferentes unidades litológicas en función de la recarga, se presentan las categorías alta, media, moderada o baja (Universidad de Antioquia y AMVA, 2015).

La dirección del flujo subterráneo proviene desde las zonas de recarga hacia el río, siguiendo en términos generales el mismo sentido de la pendiente del terreno; es evidente el papel del río Aburrá–Medellín como frontera hidráulica que capta el flujo base. Llama la atención el sector ubicado en inmediaciones de La Aguacatala hasta el cerro Nutibara, el cual coincide con un tramo en el que el río cambia su curso y describe una curva cóncava hacía el oeste, allí las líneas de flujo subterráneo que tienen su origen en la vertiente oriental del valle trascienden el cauce superficial para luego confluir con las líneas de flujo que provienen del occidente, en un sector alineado subparalelamente al río. Esta situación podría ser un indicio de la existencia de paleocauces o de intervenciones antrópicas (Figura 2). (Universidad de Antioquia y AMVA, 2015).

Para todo el Valle de Aburrá se cuenta con más de 50 puntos para análisis de muestras de agua subterránea; en ellos se hace seguimiento a los parámetros necesarios para la obtención de un Índice de Calidad del Agua Subterránea, ICA–AS. Según los resultados obtenidos en 2013, en los municipios de Barbosa, Bello y Medellín se reportan los valores ICA–AS más bajos, con una categoría de mala para consumo humano; la calificación de regular y buena se encuentra en todo el valle, la cual se presenta en dos puntos ubicados en el sector centro–occidental de la ciudad de Medellín; la categoría excelente también es reportada para dos de los puntos analizados (Universidad de Antioquia y AMVA, 2015).

La operación permanente de una red de monitoreo hidrogeológico, suministra al AMVA información actualizada acerca de la evolución en la calidad del recurso hídrico subterráneo.

Con respecto a la vulnerabilidad intrínseca, la vulnerabilidad alta se presenta en la parte baja del valle donde el acuífero libre está compuesto principalmente por los depósitos aluviales del río Aburrá – Medellín, la vulnerabilidad extrema se manifiesta en una pequeña porción de los flujos aluviotorrenciales de la quebrada Doña María y la vulnerabilidad media se presenta asociada a los depósitos de vertiente (Universidad de Antioquia y AMVA, 2013).

2.2 Actores sociales para la planeación

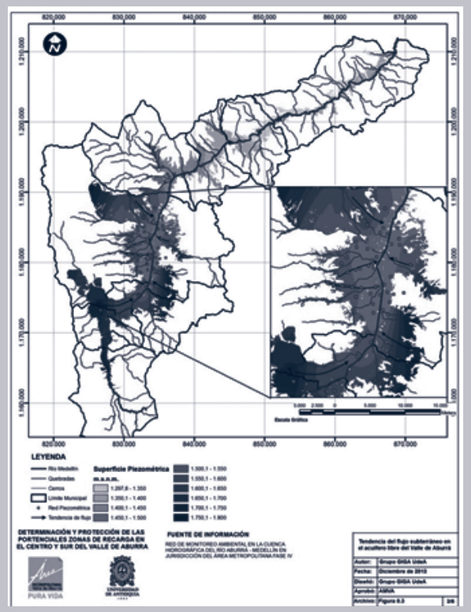
Un aspecto relevante dentro de la caracterización de un entorno físico en relación a un recurso disponible en él es el diagnóstico sociocultural, dentro del cual se identifican los actores y sectores significativos para la planeación. De esta forma se completa la construcción participativa en un contexto de un acuífero urbano, donde el agua subterránea se ha destinado para usos específicos en la industria y servicio de mantenimiento vehicular y en una mínima proporción para consumo humano. Condición que hace más invisible este recurso y que su gestión sea un reto, tanto para las autoridades ambientales que les compete su administración, como para los actores clave, identificados a lo largo del proceso de formulación del PMAA.

La interacción y el diálogo con los sujetos convocados fue el soporte para la identificación de los actores y sectores clave, las relaciones entre sectores y la descripción de amenazas al sistema acuífero.

Asumiendo que los sectores sociales están constituidos por actores sociales que comparten características comunes en sus actividades sociales, políticas o económicas, y que los actores son grupos de individuos, organizaciones, instituciones y/o empresas que comparten intereses comunes, y tienen relación con el agua subterránea del territorio, estructurando un sujeto colectivo, se edificaron para el PMAA del Valle de Aburrá, los siguientes sectores (Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad de Antioquia, 2015):

- Sector industrial: conformado por actores que tienen prácticas de afectación o uso del agua subterránea para transformación de las materias primas en otros tipos de bienes y mercancías. En este sector se encuentran las grandes empresas y microempresas ubicadas en la delimitación del acuífero.
- Sector de servicios y comercial: está conformado por actores que tienen como actividad económica la prestación de servicios y comercio y que usan el agua subterránea para el desarrollo de sus actividades. En este se incluye el comercio mayorista, minorista y los centros comerciales.
- Sector de construcción e infraestructura: este sector incluye todos los actores relacionados con la construcción. Este sector se considera relevante por la dinámica de la ciudad en términos de desarrollo infraestructura de obras públicas y desarrollos urbanísticos, tanto privados como públicos.
- Sector Institucional de coordinación, apoyo y articulación: está constituido por los actores que conforman el ámbito público y en lo que respecta a la gestión ambiental les corresponde promover, ejecutar, apoyar, articular la gestión del recurso agua en coordinación con las autoridades ambientales.
- Sector institucional estratégico en la gestión del agua: conformado por las corporaciones autónomas regionales y las autoridades ambientales urbanas con jurisdicción de la cuenca hidrográfica del río Aburrá-Medellín. Les corresponde administrar (planificación, gestión y control), dentro del área de su jurisdicción el medio ambiente y los recursos naturales renovables, entre ellos el agua.

Figura 2. Tendencia del flujo subterráneo en el acuífero libre del Valle de Aburrá


LEYENDA
Superficie Piezométrica
m.s.n.m.
DETERMINACIÓN Y PROTECCIÓN DE LAS POTENCIALES ZONAS DE RECARGA EN EL CENTRO Y SUR DEL VALLE DE ABURRÁ
FUENTE DE INFORMACIÓN
RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ - MEDELLÍN EN JURISDICCIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA FASE IV
PORA VIDA

Fuente: Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el Centro y Sur del Valle de Aburrá. Medellín, Antioquia: Área Metropolitana del Valle de Aburrá –AMVA (Universidad de Antioquia & AMVA, 2013).

- Sector académico, ciencia y tecnología: está conformado con actores que tienen como objetivo la educación, generación y difusión del conocimiento e investigación.
- Sector minero: está conformado por actores que en sus actividades económicas extraen materiales pétreos para la construcción de obras civiles y fabricación de ladrillos.
- Sector social: está conformado por organizaciones sociales y comunitarias y por actores que tengan interés temático.
- Sector agropecuario y forestal: estará conformado por actores que tengan prácticas económicas y productivas directamente con la naturaleza, que no implica transformación de esta.
- Sector especial: corresponde al Consejo Comunitario vereda San Andrés, localizada en el municipio de Girardota, el cual se designa como sector especial soportado en la Ley 70 de 1993, que establece mecanismos para la protección de la identidad cultural y de los derechos de las comunidades negras de Colombia como grupo étnico.

3. Amenazas sobre el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá

Se entiende la amenaza como la probabilidad de ocurrencia de alguna acción o circunstancia que pueda afectar negativamente al acuífero limitando o disminuyendo la disponibilidad del agua en él almacenada, ya sea porque que pueda verse afectada la cantidad o la calidad del recurso.

Las potenciales amenazas que pueden impactar un acuífero obedecen a causas de origen antrópico o natural. Dentro de las amenazas antrópicas se consideran normalmente las actividades socioeconómicas que podrían impactar la calidad de las aguas subterráneas, la explotación no planificada que puede acarrear un uso intensivo, y la perturbación de las condiciones físicas del sistema que pueden alterar las propiedades hidráulicas.

Las amenazas naturales están relacionadas con los cambios ambientales no inducidos por el hombre que afectan el ciclo hidrológico pudiendo disminuir la recarga, y con la contaminación natural que es dependiente de la naturaleza química del sustrato litológico o de las fronteras hidrológicas, particularmente, la presencia de cuerpos de agua salada.

La frontera entre las causas naturales y antrópicas, de lo que se ha denominado cambio climático y variabilidad climática, aun no ha sido establecida; el cambio del clima implica modificaciones, y según su magnitud podrían llegar a representar amenazas para el acuífero.

Las amenazas más claramente identificadas se agruparon en cuatro categorías:

• Amenazas por contaminación: la afectación a la calidad del agua, al incorporar sustancias que ocasionan cambios en las características físicas y químicas de éstas, genera efectos negativos en la salud humana y pone en riesgo la calidad de los ecosistemas dependientes. La preocupación por la contaminación de las aguas subterráneas es más relevante en los acuíferos no confinados o libres, sobre todo en los lugares donde la zona no saturada es delgada y el nivel freático poco profundo (Universidad de Antioquia y CORPOGUAJIRA, 2011). En el caso específico del Valle de Aburrá, el acuífero libre está más expuesto a este tipo de amenazas.

• Amenazas por desabastecimiento: las afectaciones ocasionadas por actividades extractivas, tanto de agua superficial o subterránea, como de material pétreo dentro del dominio espacial de un sistema hidrogeológico, pueden traducirse en una amenaza por desabastecimiento en la medida en que comprometan significativamente la cantidad de agua involucrada y la dependencia que la comunidad humana y los ecosistemas tengan de ella.

• Amenazas naturales: dentro de las amenazas naturales se considera el cambio climático y la variabilidad climática. Aunque estas amenazas tienen un origen natural, pueden acentuarse o desencadenarse por acciones antrópicas.

• Amenazas transversales: se denominan así a una serie de amenazas que dentro el análisis causa – efecto, se identifican como la causa de las anteriores amenazas, y en este sentido afectan tanto la calidad como la cantidad del agua. Son de carácter estructural y actuar sobre estas puede disminuir el impacto que generan sobre las aguas subterráneas las amenazas por contaminación y desabastecimiento. En estas amenazas se relacionan con debilidad aspectos de educación, cultura del agua, control y coordinación interinstitucional, gestión social y comunitaria, desconocimiento de las dinámicas del acuífero y las políticas y gestión pública.

La tabla 1 muestra las amenazas o problemáticas identificadas en el proceso del PMAA, agrupadas en las categorías antes descritas:

Tabla 1. Amenazas sobre el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá (Adaptado de Universidad de Antioquia y AMVA, 2015).

Amenazas por contaminación

Saneamiento básico

- Manejo inadecuado de aguas residuales.
- Manejo inadecuado de residuos sólidos.

Amenazas asociadas a los procesos productivos realizados en las diferentes actividades económicas que se localizan en el Valle de Aburrá, especialmente sobre el acuífero libre.

- Contaminación por el estado de los tanques y manejo de los combustibles en las estaciones de servicios y lavaderos de carros.
- Operación inadecuada de cementerios.
- Mantenimiento de zonas verdes por el uso pesticidas.
- Contaminación por actividad agrícola uso de fertilizantes y herbicidas.
- Contaminación por actividad pecuaria.
- Contaminación por accidentes ambientales. Se puede presentar por derrames, fugas y rompimientos de oleoductos y por el manejo de captaciones.
- Contaminación por vertimientos industriales.
- Contaminación por actividad minera.

Amenazas por desabastecimiento

- Disminución de la recarga debido principalmente a la deforestación, los cambios en el uso del suelo (expansión urbana) y al crecimiento urbano acelerado y no planificado.
- Remoción de los acuíferos y afectación de la red de flujo. Las construcciones con sótanos, la construcción de grandes proyectos de infraestructura que implican excavaciones subterráneas y/o impermeabilización del suelo con pavimento, la minería de cantera y la construcción de pilotes son factores que afectan la red de flujo, la recarga y remoción de acuíferos.
- Extracción intensiva se da principalmente por el aumento de grandes edificios con sótanos que requieren del bombeo continuo, para evitar su anegamiento y al uso intensivo del agua que hacen algunas empresas.

Amenazas naturales

- Cambio climático.
- Variabilidad climática.

Amenazas transversales

- Educación que desconoce la importancia del agua subterránea. Una de las grandes amenazas es el desconocimiento de la población sobre el tema de las aguas subterráneas. La falta de conocimiento, educación y conciencia sobre el recurso hídrico hace que no se proteja el mismo.
- Débil gestión social y comunitaria. Una débil gestión social y comunitaria deriva en uso inadecuado del recurso y de otros recursos naturales, que por su interacción con las aguas subterráneas afectan a éstas. Los actores consultados en el proceso participativo reconocieron que esta problemática radica en la falta de conocimiento y educación ambiental.
- Débil control y coordinación interinstitucional. La debilidad de las instituciones del Estado y la poca coordinación entre ellas hacen que la gestión que se realiza no logre la protección efectiva del recurso subterráneo.
- Políticas públicas que no tienen en cuenta las aguas subterráneas. Las políticas públicas tanto del nivel nacional, regional y local que promueven proyectos económicos y de infraestructura son factores que afectan la calidad y cantidad de agua, en cuanto estos no consideran como criterio de planificación las aguas subterráneas, ni se articulan con las políticas ambientales.
- Desconocimiento del régimen de flujo. La falta de instrumentos de planeación y de apropiación del conocimiento sobre la dinámica de las aguas subterráneas, dificultan implementar acciones más acertadas que permitan su protección
- Falta cultura entorno al agua subterránea. La mayoría de la población del valle de Aburra no tiene un relacionamiento directo con el agua subterránea, muchos la desconocen, lo cual conlleva a una subvaloración de este recurso.

4. Hacia la Formulación

Siguiendo la ruta trazada por el Decreto 1640 de 2012 (retomado en el Decreto 1076 de 2015), luego de estructurarse un diagnóstico participativo se debe abordar la fase de Formulación de un Plan de Manejo Ambiental de Acuífero. Esta tarea la está encarando el AMVA en el marco del convenio 1050 de 2016 con la Universidad de Antioquia, ejecutando los ejercicios de prospectiva que permiten pensar un escenario apuesta, e identificando líneas estratégicas de acción, programas y proyectos para propender por la sostenibilidad del agua subterránea en el Valle de Aburrá.

5. Referencias

MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). 2014. Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos / Vélez Otálvaro, María Victoria, Otálvaro Hoyos, Doris Liliana, Navarro Cuervo, Luz Francy, Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Universidad de Antioquia y Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2015. Aguas subterráneas: bien natural en un ambiente urbano. Diagnóstico para la formulación del Plan de Manejo Ambiental de Acuífero del valle de Aburrá. Medellín.

Universidad de Antioquia y Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2015. Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero de la cuenca del río Aburrá. Informe final. Convenio 368 de 2014. Medellín.

Universidad de Antioquia y Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2012). Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el norte del Valle de Aburrá. Medellín.

Universidad de Antioquia y Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2013). Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el Centro y Sur del Valle de Aburrá. Medellín, Antioquia: Área Metropolitana del Valle de Aburrá -AMVA.

Universidad de Antioquia y CORPOGUAJIRA. 2011. Modelo hidrogeológico y Sistema de Información en la cuenca del río Ranchería. Informe final, Convenio 057 de 2010. Riohacha, Guajira.

Una primera aproximación hacía la modelación numérica del flujo de aguas subterráneas en el Valle de Aburrá

Cristina Martínez U.
Camilo Duque D.
Universidad de Antioquia
crismurb@yahoo.com
camiloduq10@gmail.com

En el Valle de Aburrá, desde el año 2001 se vienen realizando estudios que permiten conocer la dinámica de las aguas subterráneas. Una primera aproximación se realizó en el marco del proyecto Inventario de las Aguas Subterráneas del Valle de Aburrá en el año 2001. En el año 2002, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá realizó un estudio donde se identificó y se definió la geometría y las características hidráulicas de los principales acuíferos del Valle de Aburrá, la calidad de sus aguas, la recarga, se delimitó de manera preliminar las zonas de recarga y por primera vez se definieron estrategias para establecer políticas para la conservación y protección del recurso hídrico subterráneo. En el año 2008, se realizó la primera actualización del inventario de captaciones de agua subterránea. Entre los años 2011 y 2013 se realizó la determinación y protección de las zonas de recarga del sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá y fueron propuestas medidas de manejo y protección para estas zonas, trabajo piloto a nivel nacional y de Latinoamérica; simultáneamente a estos proyectos, desde el año 2010, en el programa RedRío se opera una red de monitoreo hidrogeológico compuesta por una red piezométrica, hidrogeoquímica y calidad. Además se han realizado trabajos de investigación en modalidad de tesis de maestría.

En el trascurso de estos proyectos se ha logrado consolidar un MHC donde se puede reconocer un sistema acuífero conformado por un acuífero libre, uno semiconfinado y un acuífero pseudokárstico, además se tienen identificadas las zonas de recarga y direcciones de flujo, y éste se encuentra validado por técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas. Un paso fundamental para consolidar el actual MHC será implementar y calibrar un modelo matemático siguiendo los protocolos de modelación planteados por Anderson y Woesnner (1992), esto permitirá representar y cuantificar numéricamente el comportamiento del flujo del agua subterránea. La modelación numérica es el soporte para la toma decisiones y la adecuada gestión del sistema hidrogeológico, pues se trata de una herramienta que brinda información importante en términos de disponibilidad de agua para la adjudicación de concesiones, tasas de renovación del agua, la construcción de radios de influencia, entre otros (Duque, 2017). En ese sentido este estudio busca avanzar en el planteamiento inicial para la modelación de carácter preliminar de las unidades hidrogeológicas del Valle de Aburrá.

El reconocimiento de un sistema acuífero parte de la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual (MHC), el cual es una representación pictórica del sistema de flujo de agua subterránea, frecuentemente en forma de un bloque diagrama o una sección transversal (Betancur & Palacio 2009). Su construcción involucra un conjunto de actividades que tienen como fin el desarrollo de elementos básicos, tales como la definición de la geometría de las unidades hidrogeológicas, de sus propiedades hidráulicas, la determinación de la red de flujo, la estimación de la recarga y la evaluación de las condiciones de calidad de las aguas subterráneas. Con un MHC bien concebido de una zona de estudio se puede proceder a la construcción de un modelo matemático, con el cual se busca representar numéricamente el comportamiento del flujo del agua subterránea, a partir de condiciones iniciales y de frontera brindadas por el modelo conceptual (Anderson et al. 2015). La modelación del flujo de aguas subterráneas constituye un procedimiento significativamente importante para validar y/o complementar el MHC; así mismo, los grandes avances de la modelación numérica, permiten simular diferentes escenarios hidrogeológicos tales como el transporte de contaminantes, la predicción de impactos de los planes de gestión de los recursos hídricos, las condiciones de bombeo permanente, recarga y descarga (Yang et al. 2011).

1. Marco Conceptual

Los modelos, en general, son una herramienta bajo la cual se busca representar de manera aproximada una situación real (Anderson & Woessner, 1992) y se reconocen como modelos físicos y matemáticos. Los modelos físicos son directos, por ejemplo, en el caso de aguas subterráneas se utilizan tanques de arena en laboratorios y se les inyecta agua para simular el flujo, mientras que los modelos matemáticos utilizan ecuaciones que gobiernan el sistema, en conjunto con ecuaciones que describen las cargas hidráulicas y los flujos a lo largo de las fronteras del modelo, en el caso de los problemas que dependen del tiempo se deben describir las ecuaciones que representen las condiciones iniciales del modelo (Anderson & Woessner, 1992). Algunos modelos matemáticos se pueden solucionar de forma analítica, pero generalmente dada la complejidad de los problemas en aguas subterráneas las mejores aproximaciones se obtienen con un modelo numérico, además, estos son versátiles y aprovechan las capacidades computacionales que hay actualmente y que se están desarrollando permanentemente (Haitjema 1995). Los significativos avances en la modelación del flujo de aguas subterránea han permitido evaluar las interacciones complejas de estos sistemas (Rossman & Zlotnik, 2013) y predecir los impactos regionales producidos por los seres humanos y el medio ambiente (Zhou & Li, 2011).

A pesar de que la modelación del flujo de aguas subterráneas puede ser compleja, costosa y asociar incertidumbres (Rossman & Zlotnik, 2013), no deja de ser una herramienta necesaria que puede ayudar a la debida gestión del agua; así como lo plantea Mohanty et al. (2013), la modelación también sirve para tomar medidas correctivas y plantear usos alternativos del agua combinando los sistemas superficiales y subterráneos, además, es una excelente manera de organizar y sintetizar la información disponible, y se debe tener en cuenta que este es un componente de muchos que conforman la valoración hidrogeológica (Anderson & Woessner 1992).

Los principios generales bajo los cuales se fundamentan las ecuaciones que gobiernan el flujo de aguas subterráneas son, la Ley de Darcy y las ecuaciones de continuidad del flujo o balance de masas. Darcy, en 1886, encontró que el caudal de entrada a la columna de arena dependía de la relación entre el área de la sección transversal (A) y la diferencia entre las cargas (h_2-h_1) sobre la longitud de la columna (z_2-z_1), y que además era proporcional a un factor K que dependía del tipo de arena que lo denominó como conductividad hidráulica (Haitjema, 1995).

Ecuación 1: Ley de Darcy

$$Q = \frac{K^*A(h_2 - h)_1}{z_2 - z_1}$$

La Ley de Darcy se representa mediante la ecuación 1.

De forma general, para un medio anisotrópico, donde las conductividades hidráulicas pueden ser diferentes en las direcciones X, Y y Z y dividiendo por el área de la sección, se tiene la velocidad de Darcy en cada una de estas o el caudal normalizado q(x, y, z) (Wang & Anderson, 1982):

Ecuación 2: Generalización de la ley de Darcy para un medio anisótropico

$$q_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

$$q_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$q_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x}$$

Por otro lado, asumiendo los principios de conservación de la masa, volumen –cuando se considera el agua incompresible- y continuidad en el flujo de agua, la ecuación de continuidad es una formulación matemática que permite realizar un balance del agua en un pequeño bloque compuesto de sólido y agua en un acuífero -volumen de control-, en el que además se puede considerar cambios en el almacenamiento del acuífero, aportes y salidas externas tales como la recarga o bombeos (Haitjema, 1995).

Ecuación 3: Ecuación General del Flujo de Aguas Subterráneas

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + + \frac{\partial q_y}{\partial y} \quad \frac{\partial q_z}{\partial z}\right) = -S_S \frac{\Delta h}{\Delta t} + R$$

Dónde: R = Aportes externos y salidas (LT^{-1}); S_s= Coeficiente de almacenamiento del acuífero (adim)

$\Delta h/\Delta t$= Cambio de la carga (h) respecto al tiempo (LT^{-1}); $\partial qx/\partial x, \partial qy/\partial y$ y $\partial qz/\partial z$ = Cambio de caudal normalizado por el área en cada dirección x, y, y z (LT^{-1}).

El uso de la ecuación general de flujo de esta forma es poco práctico, ya que en la realidad no es fácil medir el q, por esta razón la ecuación se puede representar mejor en términos de la carga hidráulica (h) el cual es un valor que se puede observar y medir en campo a través de la nivelación piezométrica. Esto se logra reemplazando en la ecuación general de flujo la Ley de Darcy, obteniendo de esta forma la ecuación general de flujo comúnmente usada en las aguas subterráneas.

Ecuación 4: Ecuación General del Flujo de Aguas Subterráneas

$$\left(\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \frac{\partial h}{\partial z}\right)\right) = -S_S \frac{\Delta h}{\Delta t} - R$$

Donde Kx, Ky y Kz son las componentes principales del tensor de conductividad hidráulica K y $\partial h/\partial x, \partial h/\partial y$ y $\partial h/\partial z$ son las componentes del vector gradiente h.

Con el fin de dar solución a los fenómenos de flujo de aguas subterráneas se han desarrollado modelos matemáticos que pueden ser de carácter numérico, analítico o semi-analitico. Los modelos numéricos usan las técnicas de diferencias finitas, elementos finitos y volúmenes finitos para dar una solución aproximada a una variable, tanto en el espacio como en el tiempo y sus valores intermedios se obtienen por interpolación (Jousma et al. 1988); dado que son técnicas flexibles y poderosas para resolver estos problemas su uso es ampliamente generalizado (Yeh & Chang, 2013). Los métodos analíticos son aplicables cuando se realizan grandes simplificaciones (Jousma et al., 1988) y los métodos semi-analíticos consideran que solo es necesario realizar la discretización de las fronteras para resolverlas de manera iterativa, mientras que, los otros elementos del modelo se resuelven de manera analítica (Jousma et al., 1988).

Existen algunos modelos que permiten obtener aproximaciones a estas ecuaciones tales como: Tim, PhreFlow, MLU, AnAqSim, MODFLOW, FeFlow, HydroGeoSphere, Visual Transin entre otros. Estos pueden ser de carácter libre o comercial y sus soluciones son numéricas, analíticas o semi-analíticas. MODFLOW es uno de los modelos numéricos de flujo de aguas subterráneas más utilizado en todo el mundo. Este utiliza la técnica de diferencias finitas y su estructura es modular, lo que facilita la incorporación de nuevos paquetes por los usuarios y es utilizado para modelar en medios porosos el movimiento de aguas subterráneas en tres dimensiones en medios heterogéneos y anisotrópicos. MODFLOW simula el flujo de aguas subterráneas en un bloque-centrado con aproximación a una diferencia-finita y las capas construidas pueden ser modeladas como confinadas o libres, de igual manera, se pueden asociar con elementos externos como: zonas de recarga, evapotranspiración, drenajes y ríos. Además, la división del programa por paquetes permite al usuario examinar elementos específicos de manera independiente, esto también facilita que los usuarios construyan nuevos paquetes y los puedan incluir (Harbaugh, 2005).

Con las condiciones de borde se puede definir las entradas y salidas de agua del sistema acuífero, esto bajo criterios que responden al MHC establecido en la zona de estudio. Las condiciones de borde que podrían ser aplicadas al sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá son GHB (General Head Boundary), River, Drain, Recharge y Well. De acuerdo con Harbaugh (2005): *i) La frontera GHB (General Head Boundary)* simula el flujo que entra o sale de la celda desde una fuente externa en proporción a la diferencia de carga hidráulica en esta y la carga de la fuente externa; *ii) La frontera River* simula los efectos de la filtración de agua superficial al sistema de aguas subterráneas, donde el caudal que entra al acuífero o que este aporta al río, depende de la conductancia del lecho y la diferencia de carga hidráulica entre el río y el acuífero; *iii) La frontera Drain* se puede conceptualizar como un humedal, ya que simula la salida de agua del acuífero, a una tasa que es proporcional a la diferencia entre la carga hidráulica en el acuífero y el nivel del agua en el humedal y la conductancia; *iv) La condición de Recharge* simula la recarga distribuida sobre el sistema acuífero en términos de lámina de agua, define qué proporción de la precipitación percola al acuífero; y la *v) La frontera Well* simula como los pozos bombean o inyectan agua al acuífero a una tasa constante durante un periodo de modelación, la tasa de bombeo o inyección es independiente del área y la carga hidráulica de la celda.

2. Materiales y Métodos

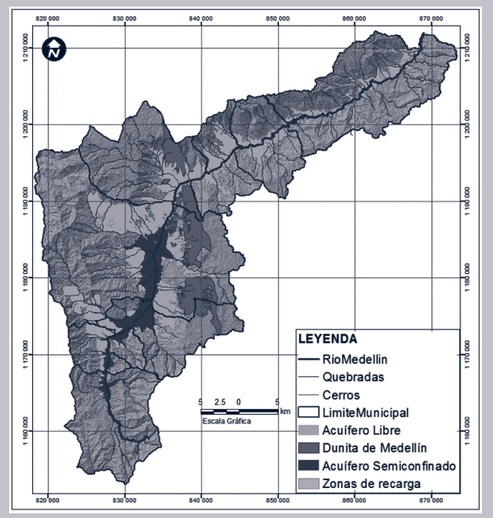
Se expone una síntesis del MHC del sistema acuífero del Valle de Aburrá, el cual aporta la información insumo del modelo numérico. A seguir, se describe el procedimiento de análisis realizado guiándose por los estándares de modelación establecidos en la bibliografía y teniendo en cuenta los alcances del presente estudio.

Materiales

El Valle de Aburrá es un dominio montañoso que presenta alturas que varían entre 1.300 y 3.100 ms.n.m, posee pendientes de hasta 75°, temperaturas que oscilan entre los 16 y 29 °C y una humedad relativa del 70%. La región se caracteriza por un clima tropical húmedo con precipitaciones de 1.500 mm/año, con máximos de 3.500 mm/año en algunas épocas; el régimen de lluvias es bimodal de abril a marzo, con dos épocas de lluvia y dos relativamente secas. En el Valle de Aburrá, desde el año 2000, se han realizado estudios hidrogeológicos que han permitido avanzar en el conocimiento de su sistema acuífero, la información recogida con la ejecución de estos ha permitido la construcción de un MHC que se ha ido refinando con el tiempo. Con la información levantada de estos estudios, se realizó la identificación de las unidades hidrogeológicas presentes en el Valle de Aburrá (Universidad de Antioquia & AMVA, 2013), estableciendo la existencia de tres unidades con potencial acuífero: i) Acuífero libre, ii) Acuífero semiconfinado y iii) Dunita de Medellín (Figura 1), de las cuales, el acuífero libre es el más estudiado y mejor conocido; el semiconfinado ha sido parcialmente explorado y la Dunita de Medellín se encuentra por explorar.

El acuífero Libre es una unidad que posee una extensión de 238,6 km^2 y está conformada por depósitos aluviales del río Aburrá-Medellín y sus afluentes y depósitos de vertiente, categorizados como flujos de lodo y escombros con edades Neógeno o Cuaternario. Texturalmente, estos depósitos están constituidos por gravas, arenas y cantos en matriz areno arcillosa gradando a arcillosa hacia la base, con presencia de lentes de grava y arcilla. Para las tareas de correlación hidroestatigráfica se contó con la información suministrada de estudios realizados en la zona (Universidad de Antioquia & AMVA, 2013; Universidad de Antioquia & AMVA, 2012; UdeA, Integral, AMVA & CORANTIOQUIA, 2002), de los cuales se recolectó información de 202 perforaciones, 71 sondeos eléctricos verticales y 82 tomografías, distribuidas en cada municipio del valle. Con esta información se determina la distribución del espesor del acuífero libre del Valle de Aburrá, que puede alcanzar hasta los 150 metros de profundidad (Universidad de Antioquia & EPM, 2014). Adicionalmente se conoce que esta unidad presenta una vulnerabilidad intrínseca media, asociada a los depósitos de vertiente, alta, en la parte baja del valle donde el acuífero libre está compuesto principalmente por los depósitos aluviales del río Medellín, y extrema en una pequeña porción de los flujos aluviotorrenciales de la quebrada Doña María (Universidad de Antioquia & AMVA, 2015).

Figura 1. Unidades Hidrogeológicas en el Valle de Aburrá



Desde el año 2002 (UdeA, Integral, AMVA & CORANTIOQUIA, 2002) se identificó la presencia de un acuífero que subyace al libre hacía el centro y sur de la cuenca. Esta unidad constituida por depósitos de origen aluvial estaría semiconfinada por una capa sellante de carácter arcilloso, con espesores que podrían varían entre 0 y 57 m, con una media de 12,8 m. Esta unidad acuífera está conformada por gravas, arenas y cantos en matriz arcillo-arenosa con pequeños lentes de arena y/o arcilla. Hay indicios, soportados en perforaciones puntuales, que indican que el basamento podría estar en algunos sitios a más de 200 m (Universidad de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia, Universidad de Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana, & AMVA, 2015), adicionalmente se registra que el grado de vulnerabilidad intrínseca es bajo en toda la extensión de esta unidad (Universidad de Antioquia & AMVA, 2015). El acuífero semiconfinado cuenta con pocos puntos de acceso, razón por la cual el conocimiento que se tiene de él es limitado para modelar con certeza su geometría.

En relación con la Dunita de Medellín, el grado de fracturamiento de esta unidad de roca, sumado a la aparente condición de pseudokárstico que se registra en algunos sectores (Universidad de Antioquia & AMVA, 2012; Universidad de Antioquia & AMVA, 2013), y algunos datos de caudal reportados en afloramientos y obras de control geotécnico, indican que en la Dunita de Medellín se podría estar almacenando un importante volumen de agua subterránea, que podría llegar a ser utilizable con fines de abastecimiento en algunos sectores del área urbana o rural de los municipios de Bello, Medellín o Envigado. Las bondades de la Dunita de Medellín aun no han sido exploradas, sin embargo, en el año 2015 se determinó que esta unidad presenta un grado de vulnerabilidad intrínseca alto (Universidad de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia, Universidad de Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana, & AMVA, 2015).

Se tiene como hipótesis la existencia de tres posibles fuentes de recarga en el Valle de Aburrá, en principio se tiene una recarga directa distribuida en las superficies libres donde afloran las unidades acuíferas y que no han sido impermeabilizadas; una segunda fuente de recarga, que se daría a partir de la interacción hidráulica que existe entre los principales cuerpos de agua superficial, como lo son el río Aburrá-Medellín y sus principales afluentes; y por último una recarga proveniente de los aportes por flujos regionales, a partir de las rocas encajantes que presentan permeabilidad secundaria, a través de las cuales se registra recarga mediante flujos laterales a los acuíferos del fondo del valle; según la dimensión a favor, que estas características le imprimen a las diferentes unidades litológicas en función de la recarga, se han establecido categorías de zonas de recarga con condiciones alta, media, moderada o baja, como resultado se obtiene que la mayor parte del valle corresponde a la categoría de zona de recarga de importancia media. En relación a la magnitud de la recarga, fueron utilizados los datos de 9 estaciones para el cálculo del balance hídrico por medio del método *Soil Water Balance*, SWB, este estima que la recarga directa presenta para un escenario seco (1997-1998) un valor promedio de 26,90 mm/año, para un año medio de 149,0 mm (2003-2004) y 527,0 mm para un año húmedo (2008-2009); en promedio la recarga constituye el 20% de la precipitación anual (Universidad de Antioquia & AMVA, 2013).

La dirección del flujo subterráneo proviene desde las zonas de recarga hacia el río, siguiendo en términos generales el sentido de la pendiente topográfica y se evidencia que el río Medellín representa una frontera hidráulica que capta el flujo base (Universidad de Antioquia, Universidad Nacional, Universidad de Medellín y Universidad Pontificia Bolivariana, 2013). A partir de la información reportada en 112 pruebas de bombeo realizadas en el acuífero libre (Universidad de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia, Universidad de Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana, & AMVA, 2015), se reportan valores de transmisividad entre 1,49 y 1160,9 m^2/día.

Con técnicas de hidrogeoquímica e isotopía fueron validadas las direcciones flujo en el acuífero libre, donde es claro que la dirección del flujo proviene desde las zonas de recarga siguiendo en términos generales el sentido de la pendiente. El agua subterránea, tomada en la mayoría de las captaciones de la red de monitoreo, registra una composición isotópica media, comprendida entre los promedios de las lluvias de Santa Elena y la Universidad de Antioquia, condición que confirma que la recarga al sistema hidrogeológico tiene carácter regional y que el agua del acuífero corresponde a una mezcla de aguas lluvias ocurridas desde las partes altas hasta el centro y fondo del Valle de Aburrá. Efectuando un seguimiento a las características isotópicas de las muestras de agua subterránea a través de las distintas líneas de flujo analizadas desde la hidrogeoquímica, se destaca el comportamiento de algunas líneas en las cuales todos los puntos tienen una marca isotópica casi idéntica, evidencia de una misma fuente de recarga.

Métodos

Para representar un MHC en un modelo numérico, además de definir los propósitos específicos de la modelación, se debe tener en cuenta aspectos como el nivel de detalle con el que se quiere modelar (depende de la escala), grado de conocimiento del MHC y la capacidad computacional disponible. Para garantizar un buen ejercicio de modelación se debe seguir adecuadamente los protocolos destinados para esto (Anderson & Woessner 2002). En este sentido Anderson & Woessner (1992) proponen un protocolo de modelación, que va desde definir su fin, pasando por la descripción del MHC, selección de las ecuaciones y el código a utilizar, la verificación, el diseño del modelo y su calibración, la realización de predicciones, para finalmente realizar una presentación de los resultados. En la *Figura 2* se presenta el esquema metodológico a seguir, el cual es un ajuste del protocolo de modelación propuesto por Anderson & Woessner (1992), el alcance de este este estudio sería hasta el ítem diseño del modelo.

Inicialmente, para el diseño del modelo numérico se verifica el estado de la información disponible del MHC y la escala de trabajo a la cual se construyó. La revisión de esta información tiene como finalidad garantizar que los archivos de entrada no presenten errores al momento de su ingreso al software de modelación, buscando continuidad lateral entre las celdas de la unidad hidrogeológica, un correcto sentido del flujo de ríos y quebradas, y datos coherentes de las propiedades hidráulicas del acuífero y de superficies piezométricas obtenidas a partir de interpolaciones. Seguidamente, se realiza una interpretación del MHC del sistema, en donde el reconocimiento de la zona de estudio ayuda a construir la realidad del sistema y a controlar las decisiones e interpretaciones durante el ejercicio de modelación. Una vez realizada la interpretación del MHC, se procede con el diseño del modelo numérico, el cual incluye el diseño de la malla y la definición de las condiciones de frontera y condiciones iniciales.

Figura 2. Esquema metodológico, ajustado de Anderson & Woessner (1992).

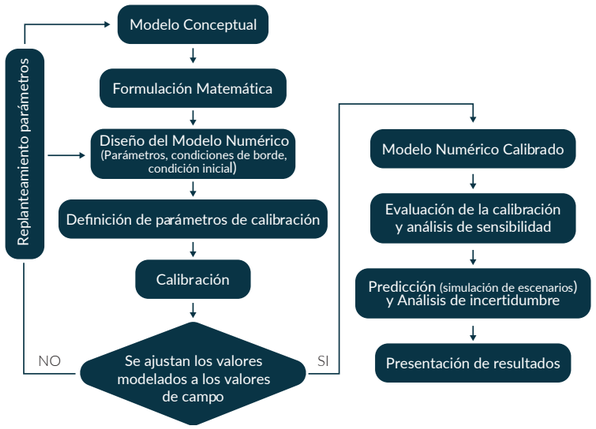
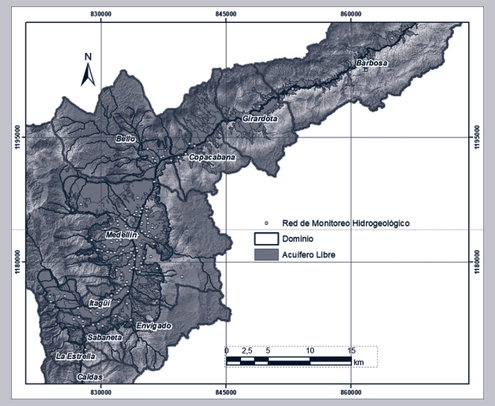

Modelo Conceptual
Formulación Matemática
Diseño del Modelo Numérico
(Parámetros, condiciones de borde, condición inicial)
Definición de parámetros de calibración
Calibración
Se ajustan los valores modelados a los valores de campo
NO
SI
Replanteamiento parámetros
Modelo Numérico Calibrado
Evaluación de la calibración y análisis de sensibilidad
Predicción (simulación de escenarios) y Análisis de incertidumbre
Presentación de resultados

Figura 3. Dominio para realizar una modelación preliminar.



3. Resultados

De las tres unidades acuíferas identificadas en el sistema hidrogeológico del valle, solo el acuífero libre posee mayor volumen de información, para el acuífero semiconfinado se tienen las posibles profundidades que puede alcanzar e indicios de los espesores que puede tener su capa sellante, y en relación a la Dunita de Medellín solo se ha planteado su condición de acuífero sin valorar aún.

Al realizar la revisión de la información disponible para el acuífero libre, se evidencia que la mayor disponibilidad de información se localiza hacía la zona centro del valle. Debido a esto, se define que el dominio para realizar una modelación preliminar sea en esta zona, proponiendo delimitar el acuífero entre los ancones norte y sur del Valle de Aburrá (Figura 3). Adicionalmente se propone trabajar con espesores de mínimo 5 m. y un número de capa igual a uno. Para el diseño de la malla de modelación, se tiene en cuenta la extensión del área a modelar, el nivel de detalle y la escala del MHC de la unidad acuífera. Para el dominio definido que comprende 197 km^2, se consideró que celdas cuadradas de 50 m. de lado serían adecuadas para realizar la modelación numérica, cada celda posee una superficie de 2.500 m^2 y un espesor variable en función de la profundidad estimada del acuífero. La malla con origen de coordenadas entre los puntos 822.444E - 1.170.160N y 838.675E - 1.194.987N, contiene 500 filas y 329 columnas, y cuenta con un total de 164.500 celdas, de las cuales 81.030 son celdas activas que representan al acuífero libre y el restante son celdas inactivas.

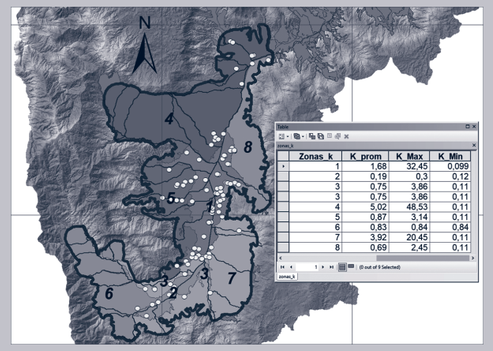
Las condiciones de frontera para realizar la modelación preliminar comprenden fronteras tipo River, en donde el Río Medellín y sus principales afluentes se representan con este tipo de condición y para los cuales se pueden asumir valores para la conductividad en el lecho del río de 5 m/día, un nivel de agua de +0,5 m y un espesor para el lecho de 1,0 m. Teniendo en cuenta las zonas de recarga por flujos regionales planteada en el MHC, se asigna en el contacto del acuífero con estas zonas la frontera tipo GHB, para representar la recarga lateral desde estas unidades hidrogeológicas. Las condiciones de frontera tipo Drain pueden ser utilizadas para representar los humedales presentes en el valle, esto en el momento en que se realice una modelación con mayor nivel de detalle.

La información base para las propiedades hidráulicas consta de 112 pruebas de bombeo realizadas en el acuífero libre, debido a que no todas las pruebas presentaban el valor de conductividad hidráulica, este fue determinado a partir del valor de transmisividad reportado y el espesor saturado del acuífero. Teniendo en cuenta la formación geológica del acuífero libre (depósitos aluviales y de vertiente) y los resultados de conductividad hidráulica obtenidos, fueron definidas 8 zonas de conductividad hidráulica. Para cada zona se determinó una conductividad hidráulica promedio y se reportaron los valores máximos y mínimos encontrados. En la Figura 4 pueden observarse las zonas definidas, los valores de conductividad determinados en m/día y los puntos de agua donde fueron realizadas las pruebas de bombeo. Los valores de conductividad hidráulicas para aplicar al modelo serían los valores promedio determinados para cada zona de conductividad definida.

El acuífero libre del Valle de Aburrá presenta grandes zonas impermeabilizadas por acción de procesos de urbanización. Considerando esto se definieron dos zonas de recarga, en donde el 70% del área del dominio de modelación corresponde a zonas impermeabilizadas y el porcentaje restante a zonas verdes. Los valores de recarga para aplicar al modelo serían las condiciones promedio del balance hídrico por unidad de suelo.

Los primeros intentos por ejecutar el modelo, en busca de la calibración de parámetros

Figura 4. Zonificación de la conductividad hidráulica.



han permitido obtener una primera percepción de como la recarga y la conductividad hidráulica son los parámetros más sensibles en el modelo. En las primeras corridas de este, se ha avanzado en la calibración manual, y se les ha asignado a estos parámetros un rango de variación con el fin de observar su comportamiento durante estas ejecuciones. Teniendo en cuenta la complejidad presente en los sistemas hidrogeológicos, que obliga a analizar cada problema de forma particular, se tiene hasta el momento un avance en relación i) al análisis de la cantidad y calidad de la información disponible del modelo conceptual del acuífero, ii) Identificación de zonas donde se presentan vacíos de información para la modelación, iii) análisis y procesamiento de la información disponible para su ingreso al modelo, como la definición de fronteras, zonas de conductividad hidráulica, zonas de recarga, y iv) gracias a estas primeras ejecuciones del modelo, una idea de su comportamiento de acuerdo a la información ingresada.

4. Conclusiones

La modelación numérica está fundamentada en el desarrollo de un MHC y su alcance dependerá de la información con la que se alimente y valide. Sin embargo, la cantidad y calidad de esta información generalmente no es suficiente. De acuerdo con esto y considerando los resultados obtenidos hasta el momento, se refuerza la idea de que la modelación numérica exploratoria es útil en la medida que proporciona una estructura que ayuda a organizar e interpretar la información disponible, identificar zonas con vacíos de información, refinar y entender MHC en construcción, situación que induce a que en la actualidad aumente la frecuencia en el uso de modelos numéricos exploratorios que permitan evaluar, ajustar y validar los modelos hidrogeológicos conceptuales.

El MHC del Valle de Aburrá se ha construido con la ejecución de diversos estudios, los cuales han proporcionado los insumos suficientes para avanzar en la construcción de un modelo numérico preliminar del acuífero libre del valle. Con este estudio, se busca labrar un camino para avanzar en el conocimiento y entendimiento del comportamiento del sistema acuífero del valle, lo que brindaría mayores herramientas que permitan realizar una adecuada gestión de este recurso, puesto que un modelo numérico calibrado, da la posibilidad de simular diferentes condiciones hidrogeológicas y realizar posibles predicciones bajo escenarios de uso de agua subterránea e intervención del territorio.

Debido al poco conocimiento que se tiene del acuífero semiconfinado y la Dunita de Medellín, no es posible contar con la información suficiente que permita la construcción de un modelo numérico de flujo, por lo que es necesario emprender tareas de exploración que permitan la construcción del MHC de estas unidades.

A partir de la interpretación del MHC se diseñó el modelo numérico para el acuífero libre del Valle de Aburrá, en el que se define el dominio de la modelación, el diseño de la malla, las condiciones de frontera y condiciones iniciales, para la realización de una modelación preliminar de esta unidad acuífera. Los primeros intentos de ejecución para la calibración animan a seguir en el proceso con la expectativa de obtener un modelo de flujo del acuífero libre calibrado, herramienta que permitirá realizar simulaciones de posibles escenarios de uso del agua subterránea e intervención del territorio, que permitirán observar el comportamiento del acuífero y con las que se podrán establecer medidas para la gestión y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico subterráneo.

Referencias

Anderson, M. P., & Woessner, W. W. (1992). Applied Groundwater Modeling Simulation of Flow and Advective Transport. San Diego, California: Academic Press, Inc.

Anderson, M. P., & Woessner, W. W. (2002). Applied Groundwater Modeling. Applied Groundwater Modeling. Elsevier. http://doi.org/10.1016/B978-0-08-088694-7.50006-7.

Anderson, M., Woessner, W. W., & Hunt, R. (2015). Applied Groundwater Modeling, Second Edition: Simulation of Flow and Advective Transport. http://doi.org/10.1016/B978-0-08-091638-5.00001-8.

Betancur, T., & Palacio, C. (2009). La Modelación Numérica como Herramienta para La Exploración Hidrogeológica y Construcción de Modelos Conceptuales (Caso de aplicación : Bajo Cauca Antioqueño). Dyna, 160, 39–49.

Duque, J. (2017). Modelación Multi-Escala del Flujo de Aguas Subterráneas en Medios Hidrogeológicos Complejos. Trabajo de investigación de maestría, Universidad de Antioquia, Medellín.

Haitjema, H. M. (1995). Analytic Element Modeling of Groundwater Flow. Analytic Element Modeling of Groundwater Flow. Elsevier. http://doi.org/10.1016/B978-012316550-3/50002-7.

Harbaugh, A. (2005). MODFLOW-2005. The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model — the Ground-Water Flow Process. U.S. Geological Survey Techniques and Methods.

Jousma, G., THornorg, B., & Verruijt, A. (1988). Modelación de la intrusión marina. Revisión de métodos. In Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros. TIAC´88 (pp. 229–290).

Mohanty, S., Jha, M. K., Kumar, A., & Panda, D. K. (2013). Comparative evaluation of numerical model and artificial neural network for simulating groundwater flow in Kathajodi-Surua Inter-basin of Odisha, India. Journal of Hydrology, 495, 38–51. http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.04.041.

Rossman, N.R. & Zlotnik, V.A., 2013. Review: Regional groundwater flow modeling in heavily irrigated basins of selected states in the western United States.Hydrogeology Journal, 21, pp.1173–1192. Available at: http://link.springer.com/10.1007/s10040-013-1010-3.

UdeA, Integral, AMVA & CORANTIOQUIA. (2002). Estudio de zonas de recarga y acuíferos del Valle de Aburrá., (pág. 436). Medellín.

Universidad de Antioquia & AMVA. (2012). Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el Norte del Valle de Aburrá. Medellín, Antioquia: Área Metropolitana del Valle de Aburrá -AMVA-.

Universidad de Antioquia & AMVA. (2013). Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el Centro y Sur del Valle de Aburrá., (pág. 365). Medellín.

Universidad de Antioquia & EPM. (2014). Disponibilidad del Recurso Hídrico Subterráneo para el Abastecimiento de Agua de los Circuitos Atendidos por Fuentes Menores: Aguas Frías, Caldas, Barbosa, San Cristóbal, La Montaña, La Cascada y San Antonio de Prado y Algunos Sectores de Bombeo Represent. Medellín, Antioquia: Empresas Públicas de Medellín -EPM.

Universidad de Antioquia, Universidad Nacional, Universidad de Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana & AMVA. (2015). Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca del Río Aburrá – Medellín en Jurisdicción del Área Metropolitana, Fase V. Medellín, Antioquia: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Universidad de Antioquia & AMVA. (2015). Aguas subterráneas bien natural en un ambiente urbano. (pág. 28). Medellín. ISBN 978-958-8513-83-6..

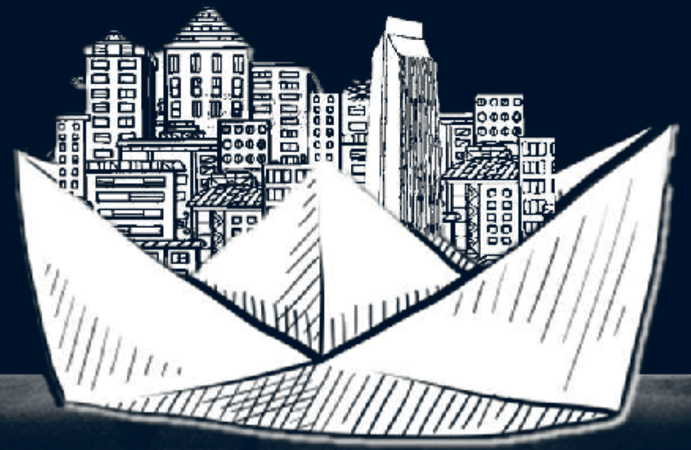
Wang, H.F. & Anderson, M.P., 1982. Introduction to Groundwater Modeling: Finite Difference and Finite Element Methods. , p.246.

Yang, Q., Lu, W., & Fang, Y. (2011). Numerical Modeling of Three Dimension Groundwater Flow in Tongliao. Procedia Engineering, 638 – 642.

Yeh, H. Der, & Chang, Y. C. (2013). Recent advances in modeling of well hydraulics. Advances in Water Resources, 51, 27–51. http://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.03.006.

Zhou, Y., & Li, W. (2011). A review of regional groundwater flow modeling. Geoscience Frontiers, 2(2), 205–214. http://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.03.003.

Aproximación a la determinación de los rangos de nivel de fondo químico natural en el Acuífero Libre del Valle de Aburrá



Juliana Ossa V.
Universidad de Antioquia
julianaossavalencia@gmail.com

En los últimos años, el conocimiento y la gestión de los recursos hidrogeológicos en el país ha cobrado mayor importancia, principalmente por la dependencia y necesidad que se tiene en algunas regiones de este recurso para el abastecimiento de la población y el desarrollo de algunas actividades económicas, constituyendo en algunos casos la principal fuente de abastecimiento y en otras una fuente de abastecimiento potencial.

Las condiciones de calidad del recurso hídrico subterráneo están estrechamente relacionadas con la disponibilidad que se tiene del mismo para un fin particular, es por esto que la evaluación de su estado actual, su evolución en el tiempo y la definición de las fuentes y procesos que puedan afectarla son claves para realizar una adecuada gestión del agua y garantizar que esta pueda ser aprovechada en el futuro.

Actualmente, en el país hay una falta de mecanismos y políticas específicas para gestionar la química y la calidad de cada sistema acuífero que pueden estar condicionadas por diferentes factores geológicos, geoquímicos, hidrogeológicos, climáticos y de ocupación del territorio que son propios de cada sistema y están relacionados con la composición química del agua lluvia, la mineralogía del acuífero, la hidrogeoquímica, las condiciones de flujo, el tiempo de residencia y las actividades antrópicas (Appelo & Postma 2005, Edmunds & Shand 2008). Es por esto que el punto inicial de esta evaluación debe partir de una definición de una línea base que permita evidenciar cambios futuros en su calidad, esto se logra a partir de la determinación de los niveles de fondo químico natural que se definen como la concentración de un determinado elemento, especie o sustancia química presente en solución que es derivada de fuentes naturales: geológicas, biológicas o atmosféricas (Edmunds et al. 2003, Hernández & Custodio 2004, Shand et al. 2007, Bearcock & Smedley 2012). Estos valores de fondo químico natural pueden ser muy variados espacial y temporalmente y deben considerarse para cada acuífero particular (Wendland et al. 2005; Shand et al. 2007; Edmunds & Shand 2008; Bearcock & Smedley 2009), ya que como se mencionó anteriormente son dependientes de diversos factores que serían propios de cada sistema.

Es importante aclarar que estos valores de fondo químico natural no corresponden a los límites de calidad que son establecidos como estándares para un uso particular como el industrial, el agrícola o el consumo humano y que se imparten en las normas de calidad de agua para una región o un país, sin considerar las particularidades de cada sistema acuífero. Aunque por lo general estos límites de calidad son superiores a los valores de fondo químico natural, pueden existir anomalías de tipo natural que ocasionen valores superiores, lo que se conoce como "contaminación natural" (Edmunds & Shand 2008; Shand et al. 2007).

En el país solo se ha realizado un estudio para la definición de los niveles de fondo químico natural en el sistema hidrogeológico del Urabá antioqueño (Ossa, 2017). En el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá desde el año 2010 opera una red de monitoreo, que con una periodicidad semestral caracteriza las propiedades químicas y de calidad de las aguas subterráneas, este análisis de calidad se realiza teniendo en cuenta los límites permisibles para consumo humano de acuerdo con la normatividad (Resolución 2115 de 2007 y Decreto 1584 de 1984) y utilizando algunos índices que tienen en cuenta la aptitud para un uso particular de acuerdo con estas normas. Sin embargo, aún no se cuenta con la definición de los rangos de concentración del fondo químico natural, que serían una herramienta fundamental para la gestión de este sistema y para que la autoridad ambiental pueda detectar cambios futuros en sus concentraciones. En este trabajo se realiza una primera aproximación a la definición de estos rangos de concentración en el Acuífero Libre del Valle de Aburrá.

Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra en medio de la cordillera Central de los Andes, en la cuenca natural del río Aburrá Medellín, ubicada en el centro del departamento. El río Medellín recorre el valle de sur a norte y las montañas y altiplanos que la limitan tienen una altura promedio de 2.700 m.s.n.m. En el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá se destacan tres unidades con potencial acuífero: i) El Acuífero Libre del Valle de Aburrá que está conformado por los depósitos aluviales del río Medellín y sus afluentes, y los depósitos de vertiente categorizados como flujos de lodo y escombros con edades Neógeno o Cuaternario, ii) El Acuífero Semiconfinado del centro y sur del Valle conformado por depósitos de origen aluvial, separados del acuífero libre por una capa sellante de carácter arcilloso, cuyo espesor varía entre 1 y 57 m con una media de 12,8 m, y iii) El Acuífero de la Dunita de Medellín: El grado de fracturamiento de esta unidad de roca, sumado a la aparente condición de pseudokarst que se registra en algunos sectores y algunos datos de caudal reportados en afloramientos y obras de control geotécnico, indican que en la Dunita de Medellín se podría estar almacenando un importante volumen de agua subterránea (AMVA & UdeA, 2013).

En términos generales, en cuanto a la composición hidrogeoquímica pueden diferenciarse 4 grupos, un primer grupo donde se encuentran la mayoría de las muestras, que corresponde a una facies bicarbonatada cálcica magnésica, un segundo grupo de facies de tipo sulfatada y clorurada mixta, un tercer grupo de tipo clorurada sódica y un cuarto grupo con facies bicarbonatada sódica.

Metodología

Con el fin de obtener una primera aproximación a los rangos de concentración de fondo químico natural para el Acuífero Libre del Valle de Aburrá, se retoman los resultados de una campaña hidrogeoquímica y de calidad realizada en el año 2013 (Cano, 2015). En total se cuenta con datos de 44 captaciones en las que fueron medidos los siguientes parámetros: sólidos totales disueltos (STD), conductividad eléctrica (CE), alcalinidad total, pH, HCO_{3}^{-}, CO_3^{2-}, Ca^{2+}, Na^{+}, SO_4^{2-}, Cl^{-}, carbono orgánico disuelto (COD), dureza total, Fe^{2+}, NO^{3-}, NO^{2-}, PO_4^{3-}, K^{+}, SiO_2, NH^{4+}. Los análisis a utilizar para la determinación de los niveles de fondo químico natural son aquellos para los cuales el error de balance iónico no supere el 10%, por este motivo fue descartado uno de ellos, teniendo un total de 43 análisis para este estudio (*Tabla 1*).

Para obtener una primera aproximación a los rangos de concentración se utiliza el método estadístico, donde estos se calculan teniendo en cuenta la mediana y la medida de los percentiles 90, 95 o 97,7 para el límite superior y los percentiles 10, 5, o 2,3 para el límite inferior respectivamente. El percentil a utilizar dependerá de la cantidad de la información (Hinsby et al. 2008), y para su definición a partir de estos valores es necesario primero realizar una selección de las muestras que tienen influencias antrópicas en este caso fueron excluidas las muestras con una concentración de NO^{3-} > 10 mg/L (Hinsby et al. 2008; Wendland et al. 2008; Müller et al. 2006; Molinari et al. 2014; Preziosi et al. 2010) esto ayuda a establecer un valor umbral que permite descartar inicialmente algunas muestras que están contaminadas y no harían parte del fondo natural. Para el caso del Acuífero Libre del Valle de Aburrá, luego de realizar este filtro se contó para este análisis estadístico con 29 datos, y el percentil a utilizar será el 90 de acuerdo a lo sugerido por Hinsby et al. (2008) quien sugiere utilizar este para conjuntos de datos pequeños (<60 puntos).

Además es importante construir diagramas de frecuencia acumulada o probabilidad acumulada y diagramas de caja, que son sugeridos ampliamente en la bibliografía revisada, estos diagramas ayudan a interpretar los valores obtenidos en términos de las fuentes y procesos que controlan estas concentraciones. Para los diagramas de frecuencia acumulada se tomaron los 43 datos, ya que las diferencias en las concentraciones a causa de la contaminación se verán reflejadas en las diferentes curvas. Finalmente estos resultados fueron interpretados a la luz del modelo hidrogeológico conceptual que se tiene del sistema.

Resultados

Teniendo en cuenta la metodología presentada anteriormente, se construyeron los diagramas de cajas y bigotes, descartando aquellas muestras que tienen una concentración de NO_{3-} mayor a 10 mg/L (*Figura 1*), de acuerdo a esta figura son los valores de CE, STD y HCO_{3-} los que presentan un rango de variación más amplio con órdenes de magnitud que van de 10^1 a 10^3, con pocos valores extremos en el caso de la CE y los STD, estos valores extremos se asocian a puntos con alto contenido de Na^+ y Cl^- y podrían estar relacionados con flujos ascendentes o contacto con depósitos salados. En los diagramas asociados al Cl^-, SO_4^{2-} y el Na^+ se observan mayor cantidad de valores extremos comparados con los demás parámetros, esto indica que las fuentes y procesos que controlan estos valores ocurren de manera puntual y podrían estar relacionados con procesos de contaminación. En cuanto al NO^{3-} su rango de variación abarca la totalidad de las concentraciones determinadas para su análisis, indicando que son variados los procesos que originan su concentración, estando relacionados posiblemente con la actividad biológica y los aportes atmosféricos para las concentraciones más bajas y posiblemente con contaminación. Las concentraciones asociadas a los demás iones mayoritarios (Mg^{2+}, K^+, Ca^{2+}), donde se observa una oscilación menor en sus concentraciones, podrían asociarse con procesos naturales como la disolución de los minerales y el intercambio iónico. Por su parte los iones minoritarios que presentan más valores extremos son el Fe^{2+} y el PO_4^{3-}, estos corresponderían a fuentes puntuales de contaminación.

En la *Figura 2* se presentan los diagramas de frecuencia acumulada para cada uno de los iones y parámetros analizados, de acuerdo a esta figura puede decirse que la forma casi vertical de la curva de pH, indica que sus concentraciones están controladas por pocos procesos. Las curvas del PO_4^{3-} y el NO_{3-} que presentan un mayor cambio en la pendiente, mostrando más de una moda, indican que sus concentraciones proceden de varias fuentes; para el NO_{3-} estas pueden estar asociadas como se mencionó anteriormente a los aportes atmosféricos y biológicos y a procesos de contaminación antrópica, para el PO_4^{3-} las fuentes serían de origen antropogénico, asociadas principalmente con el uso de detergentes, contaminantes atmosféricos y el uso de fertilizantes en las zonas rurales. Las curvas asociadas a los demás parámetros, presentan una forma asintótica que estaría relacionada con procesos de contaminación puntual, aunque en el resto de la curva los cambios en la pendiente son muy leves, lo que podría indicar que estos se deben a la disolución de diferentes minerales y procesos como el intercambio iónico. Las curvas del NH^{4+}, NO^{2-} y el Fe^{2+} evidencian que la mayoría de las concentraciones registradas se encuentran por debajo del límite de detección, de cada método de análisis.

A partir de este análisis y luego de realizar el cálculo de los percentiles, se obtiene en la Tabla 1 una aproximación a los rangos de concentración de fondo químico natural para el Acuífero Libre del Valle de Aburrá, sin embargo se debe tener presente que estos resultados requieren de una validación más detallada que deberá realizarse en ejercicios posteriores. Como se mencionó en la metodología planteada, como valores de referencia se tomaron el percentil 10 para el límite inferior y el percentil 90 para el límite superior del fondo químico natural, además se presenta la mediana como una medida de tendencia central menos sensible a valores extremos que indicaría los valores medios en estos iones y parámetros.

Figura 1. Diagramas de cajas y bigotes para el Acuífero Libre del Valle de Aburrá, para las muestras con concentraciones de NO_{3-} <10 mg/L

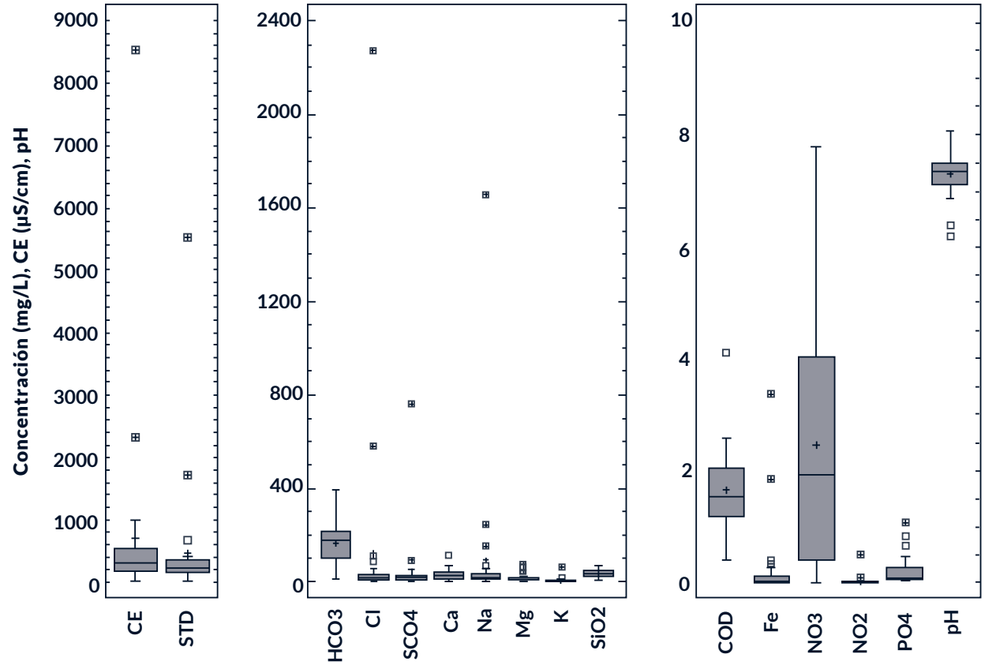
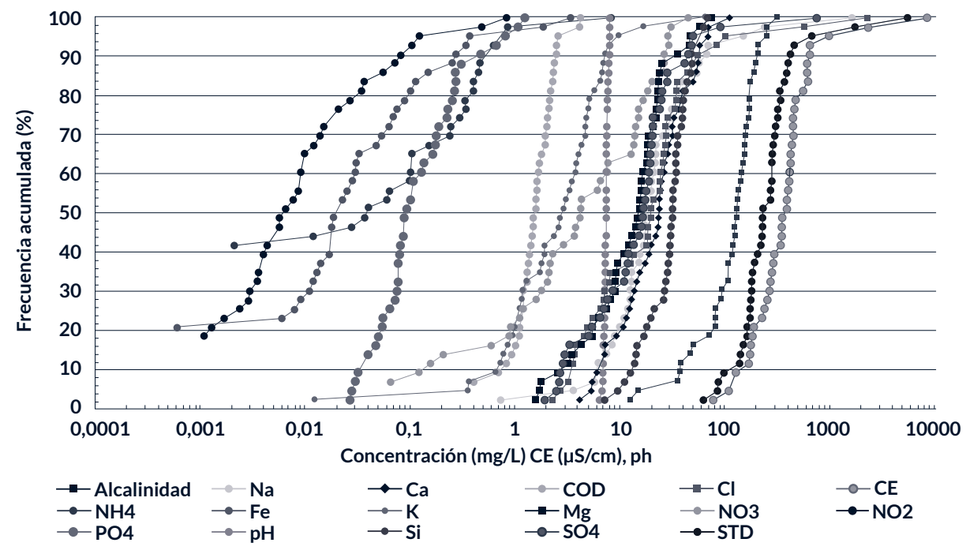


Figura 2. Diagramas de frecuencia acumulada de los principales compuestos químicos del Acuífero Libre del Valle de Aburrá



Parámetro	Límite superior del FQN	Límite inferior del FQN	Mediana	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estandar
Conductividad (µS/cm)	724,80	122,60	345,00	25,80	8540,00	708,49	1564,64
Sólidos disueltos totales (mg/L)	468,80	87,40	229,00	22,00	5530,00	476,14	1019,40
Alcalinidad total (mg CaCO3/L)	209,40	37,68	146,00	7,26	320,00	135,79	72,78
Dureza total (mg CaCO3/L)	264,80	48,70	137,00	3,98	656,00	162,30	124,96
Bicarbonatos (mg HCO3-/L)	255,47	45,97	178,12	8,86	390,40	390,40	88,78
Calcio disuelto (mg Ca2+/L)	56,86	6,78	23,70	0,01	112,00	29,57	23,84
Magnesio disuelto (mg Mg2+/L)	28,46	1,77	14,10	0,30	74,40	16,97	16,77
Sodio disuelto (mg Na+/L)	85,96	5,36	18,40	0,74	1655,00	89,34	305,27
Potasio disuelto (mg K+/L)	8,48	0,66	2,96	0,01	65,10	5,99	11,93
Cloruros (mg Cl-/L)	87,04	3,42	18,40	1,71	2277,00	118,82	428,31

Parámetro	Límite superior del FQN	Límite inferior del FQN	Mediana	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estandar
Sulfatos (mg SO_4^{2-}/L)	49,08	2,84	16,90	0,49	761,00	45,52	139,00
Hierro disuelto (mg Fe^{2+}/L)	0,35	0,00	0,03	0,00	3,38	0,25	0,70
Nitratos (mg NO_3^-/L)	6,73	0,10	2,04	0,00	31,00	3,43	5,78
Nitritos (mg NO_2^-/L)	0,08	0,00	0,01	0,00	0,49	0,03	0,09
Ortofosfátos totales (mg PO_4^{3-}/L)	0,51	0,03	0,08	0,03	1,09	0,20	0,26
pH	7,84	6,87	7,35	6,20	8,06	7,32	0,43
Sílice disuelta (mg SiO_2/L)	49,20	10,73	32,20	5,69	68,10	32,65	16,38
Carbono Orgánico Disuelto (mg/L C)	2,34	0,80	1,52	0,41	4,12	1,61	0,75
Amonio (mg/L NH_4^+)	0,68	0,00	0,10	0,00	8,31	0,48	1,53

Conclusiones

De acuerdo con el conocimiento que a la fecha se tiene del Sistema Acuífero del Valle de Aburrá, este se perfila como una fuente de abastecimiento que se debe proteger y para esto deben continuar los esfuerzos que hasta ahora se han hecho por caracterizar y establecer una línea base que permita detectar cambios futuros mediante el continuo monitoreo tanto en cantidad como en calidad.

A partir de los resultados de una campaña de monitoreo hidrogeoquímico se ha logrado una aproximación a la determinación de esta línea base a partir de la definición de los rangos de concentración de fondo químico natural para el Acuífero Libre del Valle de Aburrá partiendo de un análisis estadístico, así como una deducción preliminar de las fuentes y procesos que originan estas concentraciones. Aunque deberá confrontarse con un ejercicio detallado donde se incluya una relación de estas con la mineralogía de las unidades geológicas, una caracterización de las fuentes de contaminación y los demás datos hidrogeoquímicos de las demás campañas de monitoreo. Además estos ejercicios deberán realizarse para el Acuífero Semiconfinado y la Dunita de Medellín y relacionarlos con las concentraciones obtenidas en este trabajo.

Por otro lado se debe aclarar que los rangos definidos son propios de este sistema, aunque la metodología utilizada en el desarrollo de este estudio puede ser replicada en los demás sistemas acuíferos, cada análisis es propio de cada región y deberá considerar las particularidades de cada sistema acuífero.

Referencias

Appelo, C. & Postma, D., 2005. Geochemistry, groundwater and pollution 2.a ed., CRC Press.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad de Antioquia, 2013. Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el centro y sur del Valle de Aburrá.

Bearcock, J. & Smedley, L., 2009. Baseline groundwater chemistry: the Magnesian Limestone of County Durham and north Yorkshire,

Bearcock, J. & Smedley, P., 2012. Baseline groundwater chemistry: the Sherwood Sandstone of Devon and Somerset, Available at: http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/17094 [Accedido octubre 16, 2014].

Cano, A.F. 2015. Identificación de la Presencia de Flujos Regionales en el Sistema Hidrogeológico del Valle de Aburrá a partir de un Caso de Estudio en una Zona en una Zona Piloto. Tesis de Maestría, Universidad de Antioquia.

Edmunds, W.M. & Shand, P., 2008. Natural Groundwater Quality, Blackwell Publishing. Available at: http://doi.wiley.com/10.1111/j.1745-6584.2008.00495.x.

Hernández, M.E. & Custodio, E., 2004. Natural baseline quality of Madrid Tertiary Detrital Aquifer groundwater (Spain): a basis for aquifer management. Environmental Geology, 46(2), pp.173-188. Available at: http://link.springer.com/10.1007/s00254-004-1024-1 [Accedido octubre 16, 2014].

Hinsby, K., Condesso de Melo, M.T. & Dahl, M., 2008. European case studies supporting the derivation of natural background levels and groundwater threshold values for the protection of dependent ecosystems and human health. The Science of the total environment, 401(1-3), pp.1-20. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969708002775 [Accedido octubre 20, 2014].

Ministerio de Protección Social & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007. Resolución 2115 de 2007, Colombia.

Molinari, A., Chidichimo, F., Straface, S. & Guadagnini, A., 2014. Assessment of natural background levels in potentially contaminated coastal aquifers. Science of the Total Environment, 476-477, pp.38-48. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.125.

Müller, D., Blum, A., Hart, A., Hookey, J., Kunkel, R., Scheidleder, A., Tomlin, C. & Wendland, F., 2006. Final proposal for a methodology to set up groundwater treshold values in Europe. Report to the EU project "BRIDGE" 2006, Deliverable D18, Available at: http://hydrologie.org/BIB/Publ_UNESCO/SOG_BRIDGE/Deliverables/WP3/D18.pdf.

Ossa, J. 2017. Nivel de Fondo Natural para un Sistema Acuífero. Caso de Estudio: Urabá Antioqueño. Trabajo para optar al título de Magister en Ingeniería Ambiental, Universidad de Antioquia.

Presidente de la República, 1984. Decreto 1594, Colombia.

Preziosi, E., Giuliano, G. & Vivona, R., 2010. Natural background levels and threshold values derivation for naturally As, V and F rich groundwater bodies: A methodological case study in Central Italy. Environmental Earth Sciences, 61(5), pp.885-897. Available at: http://link.springer.com/10.1007/s12665-009-0404-y [Accedido octubre 16, 2014].

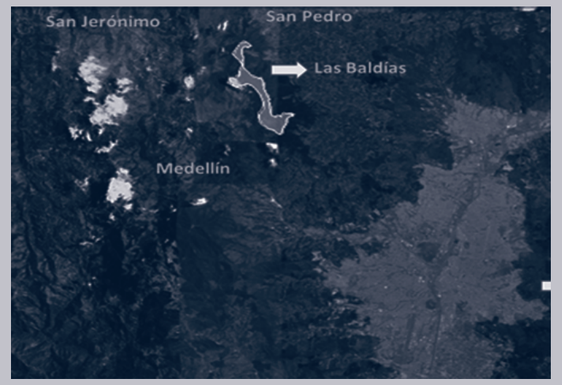
Shand, P., Edmunds, W.M., Lawrence, A.R., Smedley, P. & Burke, S., et al., 2007. The natural (baseline) quality of groundwater in England and Wales, Available at: http://www.bgs.ac.uk/downloads.

Wendland, F., Hannappel, S., Kunkel, R., Schenk, R., Voigt, H. J. & Wolter, R., 2005. A procedure to define natural groundwater conditions of groundwater bodies in Germany. Water Science and Technology, 51(3-4), pp.249-257. Available at: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-17544368806&partnerID=tZOtx3y1.

Serranías de las Baldías, único ecosistema de páramo ubicado en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Ana Felisa Guerra J.
Francisco Javier González
Elmer Ibagón V.
Estudiantes del Diplomado en Hidrogeología y Gestión de Acuíferos
anafelisa123_4@hotmail.com,
frajaca1205@hotmail.com,
gildardo.elmer@hotmail.com

Figura 1. Límites Serranía de las Baldías



Fuente: CORANTIOQUIA 2014

2. Ubicación Serranía de las Baldías

La administración municipal de Bello, consiente de los beneficios y potencialidades de su territorio, consideró la realización de estudios técnico-ambientales de dos de sus principales ecosistemas estratégicos: La Serranía de las Baldías y el cerro El Quitasol, para objeto de este estudio, vamos a tomar la Serranía de las Baldías, destacando en ella su condición de páramo, la presencia de un humedal y su carácter de potencial zona de recarga de acuíferos.

1. Antecedentes

Dos actos administrativos se han proferido para destacar el rol estratégico del ecosistema de Las Baldias: i) Resolución No 2140 del 19 de diciembre de 2116, mediante la cual el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, profirió acto administrativo "Por medio del cual se delimita el páramo de las Baldías y se adoptan otras determinaciones". Esta resolución se encuentra publicada en la página web de este ministerio, la cual puede ser consultada en el enlace: www. minambiente.gov.co/imagen/normativa/app/resoluciones. ii) La corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA, mediante escrito radicado E12016-032063 del 7 de diciembre de 2015, entregó a este ministerio, los estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales para la delimitación del páramo de Las Baldías.

La Serranía de Las Baldías, contiene un humedal altoandino ubicado al occidente del Valle de Aburrá (municipios de Medellín y Bello), San Jerónimo y San Pedro, en el departamento de Antioquia (Figura 1 y Figura 2). Una zona de recarga acuífera, donde nacen al menos cinco micro cuencas que proveen servicios ambientales a varios sectores de los municipios de Medellín, Bello, San Jerónimo y San Pedro. Su mayor extensión se encuentra en los municipios de Bello y Medellín.

Según CORANTIOQUIA, de acuerdo con el Atlas de Páramos de Colombia del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, en Colombia existen 15 distritos de páramos, donde se encuentran los Páramos Metropolitanos de Colombia. En este estudio se realizó la caracterización hidroclimática del páramo de Las Baldías, ubicados en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Por su conservación y extensión, la cuchilla de Las Baldías cumple con la categoría de páramo, permanece como un ecosistema estratégico para toda la región, lugar donde nacen importantes subcuencas hidrográficas, además de proveer importantes servicios ambientales. En este páramo la vegetación de bosque alto andino y de subpáramo está bien representada en extensión; sin embargo, las áreas donde se encuentran los frailejones requieren de una especial protección por su poca e extensión y por ser muy sensibles a la perturbación.

3. Aspectos Ambientales para su Conservación y Protección

Se destacan a continuación algunas características relevantes que hacen del páramo de Las Baldias un ecosistema para conservar y proteger:

- En el páramo de Las Baldías, nacen las quebradas La Volcana, La Iguaná, El Hato y La García, afluentes del río Aburrá y otras vertientes del río Cauca. Esta zona se constituye en un área ecológica de gran importancia y hoy enmarcada en el Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del Rio Aburra POMCA.
- Presencia de epífitas (Figura 3), especies importantes en la producción de agua como el musgo, que absorben, almacenan y liberan el agua proveniente de las lluvias y de la niebla.
- Regulador de los ciclos hidrológicos, allí confluyen los vientos húmedos provenientes de la cordillera Occidental, el agua después de cumplir funciones ecológicas importantes regresan a la atmósfera formando nuevamente cinturones de nubes y niebla para iniciar de nuevo el ciclo.
- Hábitat de fauna de alta montaña y refugio de aves migratorias, durante los meses de octubre a enero y de junio a septiembre estos ecosistemas son refugio, protección y albergue de especies provenientes del hemisferio norte y sur.
- Alta biodiversidad (Figura 4), estos ecosistemas contienen una alta diversidad de plantas y animales, la mayoría endémica y en vía de extinción, como las especies frailejón (*EspeletiaHartwegiana*), palma de cera (*Ceroxylonflexousum*) y *Coriariathymifolia*, productora de colorantes y otras.

Figura 2. Serranía de las Baldías

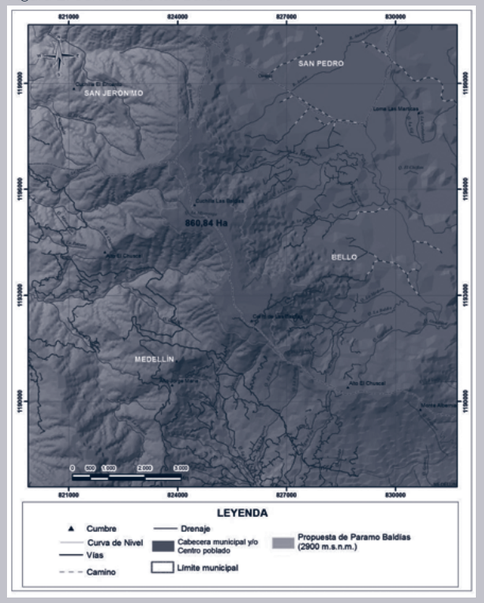


Figura 3. Especies encontradas en el muestreo. Arbustales y bosques de bajo porte (< 8 m), en el complejo Las Baldías-Padre Amaya.

Fuente Corantioquia 2014.

Figura 4. Uvitales en floración y flora endémica -Páramo serranía de Las Baldías. Estudio Área Metropolitana, 2010

4. Zona de nacimientos y Oferta Hídrica de la Serranía de las Baldías

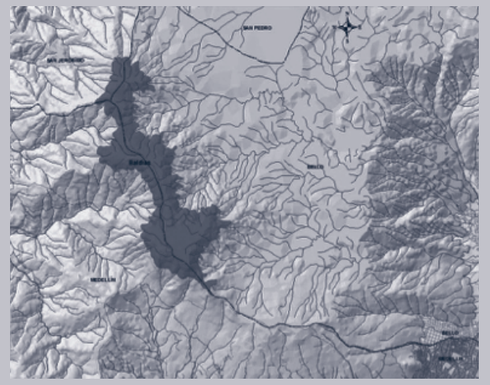
La Serranía de Las Baldías es una estrella fluvial donde nacen importantes quebradas (Figura 5), tales como: La García, La Parquera, La Baldía y El Hato. Las cuencas de las quebradas La García y El Hato pertenecen al municipio de Bello y tienen su desembocadura en el río Aburrá, además son cuencas que abastecen el embalse de la Central Hidroeléctrica Porce II. En este páramo también nacen las quebradas La Volcana y La Miserenga ubicadas en el municipio de Medellín y que hacen parte a su vez, de la cuenca de la quebrada La Sucia. La cuenca de la quebrada La Iguaná del municipio de Medellín también nace en este páramo.

Las subcuencas La Iguaná y La García presentan valores altos en cuanto a las pendientes y densidades de drenaje, aunque La Iguaná tiene mucho más caudal y áreas de drenaje, pues es considerada como una subcuenca superior o de tipo A. El área rural de estas dos grandes cuencas presentan, además del bosque húmedo Premontano (bh-PM), la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh-Mb), con precipitaciones entre 1552 y 2180 mm/año, piso altitudinal ente 2000 y 3150 ms.n.m. y biotemperatura entre 12 °C y 16 °C. Esta zona de vida se localiza en las partes altas de estas subcuencas.

Las lagunas y pantanos de la Serranía de Las Baldías y las montañas que circundan la zona noroccidental del Valle de Aburrá (Figura 6) se constituyen entonces en un ecosistema de enorme importancia estratégica para más de 3.5 millones de personas que habitan el Área Metropolitana del Valle de Aburra y el occidente cercano de Antioquia.

Su valor ecológico, económico, social y cultural debe ser tenido en cuenta para el diseño y ejecución de políticas de desarrollo en la región, pues los humedales y la biodiversidad de este subpáramo no están aislados, sino que son sistemas complejos, por tanto, esenciales para la dinámica de las microcuencas en las altas montañas, así como de otros sistemas hidrográficos, pues sus aguas fluyen hacia las vertientes del Valle de Aburrá y hacia las poblaciones del occidente Antioqueño, jurisdicción de los municipios de San Jerónimo, Sopetrán y Santa Fe de Antioquia.

Figura 5. Drenajes-Serranía de las Baldías



Fuente: geodatabases del DAP y CORANTIOQUIA 2015.

Figura 6. Zona de afloramiento de acuíferos.

En el páramo de la Serranía de Las Baldías, los valores de la precipitación media multianual son aproximadamente 2.200 milímetros de lluvia. La existencia de un gran estrato de vegetación y de biomasa muerta sobre los suelos, sumada a la enorme capacidad de almacenamiento de agua en los humedales, lagunas, pantanos y suelos, es lo que define su importancia como ecosistemas de regulación hídrica, servicio ambiental que permite proveer continuamente agua limpia y es allí donde comienzan el recorrido de casi todas las microcuencas, subcuencas y ríos.

Como beneficiarios directos del ecosistema del páramo de Las Baldías se encuentran los siguientes sistemas de acueductos veredales: municipio de Bello y Medellín: acueducto Charco Verde (183 usuarios), acueducto San Félix (230 usuarios), acueducto Multiveredal El Hato (320 usuarios), acueducto multiveredal La iguana (240 usuarios), acueducto Potrera (usuarios no determinados), acueducto cabecera corregimiento de Palmitas (240 usuarios), aproximadamente se abastecen más de 6000 usuarios.

5. Estrategias de Conservación y Protección del Ecosistema la Serranía de las Baldías.

A continuación se enumeran algunas estrategias de conservación y protección de las que debería ser objeto el Páramo Las Baldías:

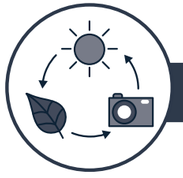
- Recuperar, conservar y mejorar la red hídrica de las quebradas que allí nacen especialmente el Hato, El Barro, La García, La Porquera, La Paila y la Medina.
- Servir como área de amortiguación de las áreas vecinas.
- Hacer de la reserva un centro de investigación de los ecosistemas de alta montaña, con el fin de conocer, proteger y recuperar la biodiversidad.
- Desarrollar programas de formación ambiental ciudadano con la participación de la comunidad, generando en ellos cambio de actitud y sentido de pertenencia.
- Proteger las pocas especies que aún sobreviven y repoblar los que existieron.
- Convertir el área en un laboratorio natural para que las próximas generaciones entiendan y protejan los recursos naturales que aún existan.

Con la implementación de medidas enmarcadas dentro de estas estrategías se lograrían los siguientes impactos:

Sociales

Evitar la desaparición de las zonas de recarga y nacimiento que proveen agua para diferentes usos, atenuar a futuro la afectación social por cambio climático, prevenir el impacto negativo de los eventos de inundación de común ocurrencia en la quebrada la García y El Hato, conservar las especies de biodiversidad con un valor de opción para la sociedad. En términos generales garantizar que los servicios de aprovisionamiento, regulación, culturales y de soporte permanezcan e impacten positivamente a la sociedad.

Este sitio juega un papel fundamental en la regulación del clima a nivel local y regional. Sus vientos fríos, al descender por las laderas noroccidentales son determinantes en el confort climático de todo el Valle de Aburrá donde habitan más de 3.400.000 habitantes, en resumen, ejercen influencia en el clima del Valle de Aburrá, así como también en la producción de oxígeno. Por otra parte, todos los servicios asociados aportan a la mitigación de las inundaciones que impactan negativamente a los habitantes de la zona de influencia, al igual el sitio provee significativos servicios estéticos, educativos, culturales y espirituales, al igual que una oportunidad para la recreación y el ecoturismo controlado, con el consecuente beneficio social y económico.



Económicos

La actividad de la zona rural de las zonas aledañas al ecosistema estratégico de las Baldías gira en torno a la actividad pecuaria en el corregimiento San Félix (Bello), la actividad agrícola de pequeños propietarios en los corregimientos de Palmitas y Medellín y a la recreación turística en el occidente cercano de Antioquia.

Impactos ambientales

El desarrollar proyectos permita fortalecer el conocimiento de biodiversidad que tiene la región, ya que se ubica en un lugar prioritario para su conservación y la de sus humedales. Además al estar localizado en una zona húmeda, la protección de este humedal cobra mayor relevancia por su grado de importancia como zona de recarga de acuíferos que abastece de agua para diferentes usos en la región.

Adicionalmente, el proyecto debe contribuir a la toma de decisiones para una adecuada gestión que garantice la regulación de los procesos ecosistémicos, al mantenimiento de la calidad del agua, a la regulación del clima a través del ciclo de captura y liberación de una gran proporción de carbono en la atmósfera del Valle de Aburrá, al control de la erosión, purificación del agua y atenuación de inundaciones.

Es importante señalar que estas medidas encajan dentro de un soporte legal de la protección y conservación con el concurso público privado:

LEY 99 DE 1993 Consagra los principios aplicables en materia ambiental (principio de precaución, interés general sobre el particular), y señala zonas objeto de protección especial, relacionadas con los páramos y sub-páramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos (artículos 1 al 4).

LEY 373 DE 1997 Programa para el uso eficiente y ahorro del agua ordena que en la elaboración y presentación del programa se precise que las zonas de páramos, bosques de niebla y áreas de influencia de las zonas de recarga, deberán ser adquiridas con carácter prioritario por las entidades ambientales de la jurisdicción correspondiente.

DECRETO 953 DEL 17 DE MAYO DE 2013 Reglamenta el artículo 111 de la Ley 99 de 1993 modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011, presenta las condiciones necesarias para que los entes territoriales (departamentos y municipios), financien el pago de los servicios ambientales (PSA) prestado por los ecosistemas, y para que se realice la adquisición de predios en áreas de importancia estratégica para la conservación del recurso hídrico.

Se hace necesaria la conservación de los recursos hídricos que surten de agua a varias comunidades, las cuales deben ser declaradas como de interés público, según el artículo 111 de la Ley 99 de 1993, modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011. De acuerdo con este último artículo, se debe reglamentar la definición de las áreas prioritarias a ser adquiridas o donde se deben implementar los esquemas de pago por servicios ambientales por parte de las autoridades ambientales.

DECRETO 953 DEL 17 DE MAYO DE 2013 Por el estado actual y potencial de los recursos naturales renovables, se requiere de mecanismos para la conservación y recuperación de la áreas de importancia estratégica que surten de agua los acueductos municipales, distritales y regionales que benefician a la población.

El objeto de dicho decreto es el de reglamentar el artículo 111 de la Ley 99 de 1993, modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011, con el fin de promover la conservación y recuperación de las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua a los acueductos municipales, distritales y regionales, mediante la adquisición y mantenimiento de dichas áreas y la financiación de los esquemas de pago por servicios ambientales. Se entienden como áreas de importancia estratégica aquellas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua a los acueductos municipales, distritales y regionales, a la luz del parágrafo del artículo 1° de la mencionada ley.

DECRETO 953 DEL 17 DE MAYO DE 2013 A partir de la implementación de los esquemas de pago por servicios ambientales, busca fortalecer el reconocimiento de los servicios ambientales prestados por los ecosistemas que deben adquirirse, y el reconocimiento social e institucional de la conservación ambiental de los recursos hídricos y bióticos que realizan sus propietarios. Es decir, estas dos premisas constituyen el espíritu del Decreto 953 del 2013.

ARTÍCULO 5 Indica que para la selección de predios, las entidades territoriales con el apoyo técnico de la autoridad ambiental de su jurisdicción, deberán seleccionar, en las áreas de importancia estratégica identificadas, delimitadas y priorizadas por la autoridad ambiental competente, los predios a adquirir, a mantener o a favorecer con el pago por servicios ambientales.

6. Referencias

ALVAREZ, Juan Felipe. Identificación y caracterización de acueductos veredales y sus bocatomas, como diagnostico asociado al saneamiento de cuencas en las áreas rurales en el Municipio de Bello, contrato 280 de 2007, Bello, 2007

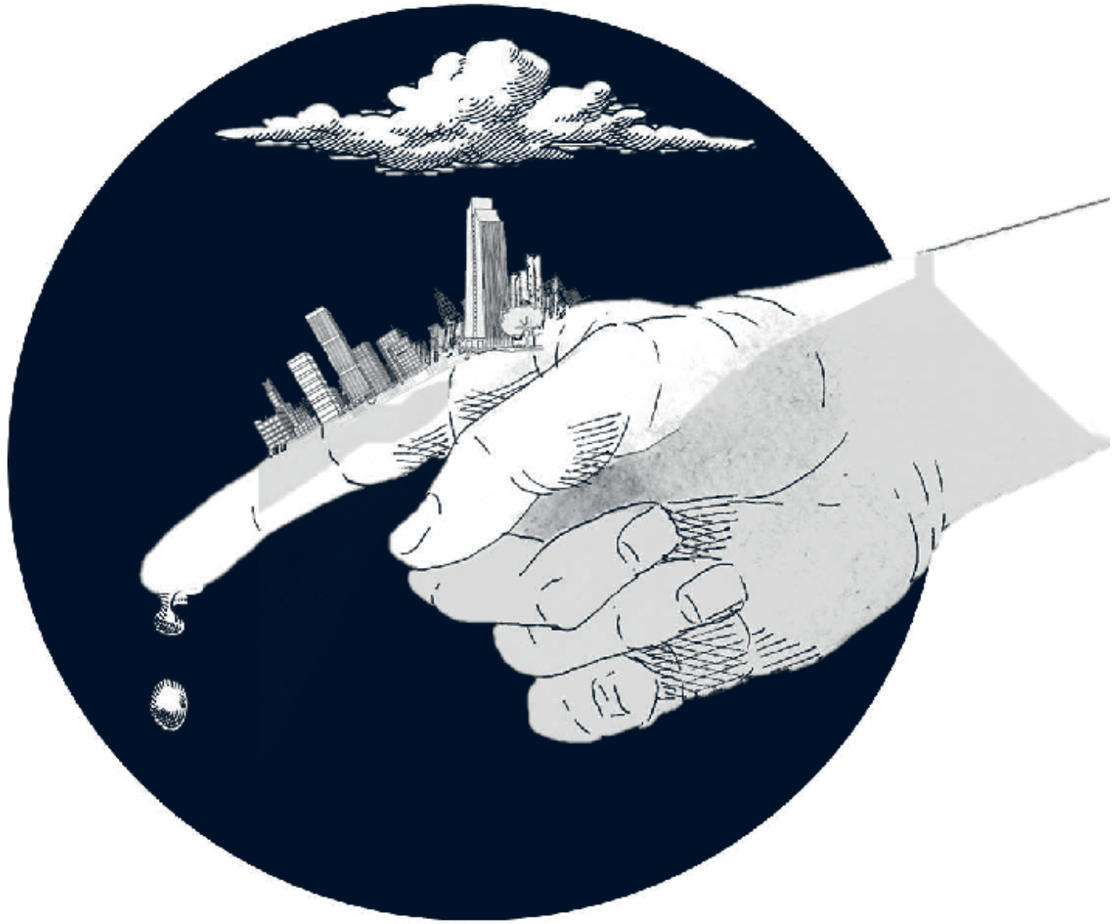
AGUDELO PATIÑO, Luis Carlos et al. Medellín: CORANTIOQUIA, 2000.

COSTANZA et al. The value of world's ecosystem services and natural capital. En. Ecological Economics United Kingdom. Vol 25 (1988).

MUNICIPIO DE BELLO. Informe final contrato 660 de 2007 "Elaborar estudios técnicos AMBIENTALES DE LOS ECOSOTEMAS DE INTERES ESTRATEGICO Cerro Quitasol y Serranías de las Baldías en el marco del modelo principios políticos y objetivos del POT" Ejecutados por la Unión Temporal Ecosistemas. (Universidad de Medellín-Servicios en Ingeniería y Gestión Ambiental. Bello: el Municipio, 2008.

MUNICIPIO DE BELLO. 2000. Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Bello: El Municipio, 2000.

Video: Horacio Augusto Moreno. 2017. Antioquia Asombrosa, San Félix: El Páramo más pequeño de Colombia [Tele Antioquia] Corregimiento San Félix



Las aguas subterráneas en el municipio de Envigado: presente y futuro

Gabriel Fernando Ospina B.
María Teresa Mejía S.
Jairo Alberto Ceballos P.
Estudiantes del Diplomado en Hidrogeología y Gestión de Acuíferos
fotosintesis5313@gmail.com,
gabrielospina@hotmail.com,
jairo.ceballos@envigado.gov.co

Acuífero es la palabra que los especialistas, los hidrogeólogos utilizan para designar que una formación rocosa subterránea contiene y transmite agua. Así mismo el agua subterránea es un bien ambiental oculto que hace parte del patrimonio hídrico territorial (IDEAM, 2014). En Colombia se han adelantado estudios a nivel nacional en el IDEAM, con evaluaciones tanto al agua superficial como al agua subterránea, una de las más recientes se publicó en 2010 con el Estudio Nacional del Agua o ENA, donde se arrojaron los siguientes datos de este patrimonio hídrico:

- Que el 74.5 % del territorio nacional está cubierto por provincias hidrogeológicas, el 25,5 %, 291.620,04 km2 corresponde con rocas ígneas y metamórficas.
- El volumen total de agua subterránea es de 5.848 x 109 m_3 esto es cerca de 3 veces la oferta de agua superficial disponible. (Instituto de Hidrología, 2010).

Esta agua subterránea se origina como consecuencia del movimiento del agua en el ciclo hidrológico en el cual parte del agua pasa por percolación a las profundidades y si se encuentra capas impermeables da lugar a su depósito en el cual, ésta agua, se mueve por poros, grietas, fracturas y fisuras.

1. Antecedentes normativos

¿Por qué razón hoy en Colombia las Administraciones Regionales y Municipales se están ocupando de las aguas subterráneas? En 1974, fecha en la cual aun regía la Constitución Política de 1886, que no incluía para nada el cuidado y protección del medio ambiente, el presidente de entonces Carlos Lleras Restrepo, debió gestionar facultades con el Congreso para realizar una Reforma Constitucional para poder incluir el tema del "Cuidado y Protección del Medio Ambiente" y poder hacer adhesión a las decisiones de la Cumbre Ambiental de Estocolmo de 1972, con la promulgación del Decreto Ley 2811 de 1974, más conocido como Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente. Desde 1991, con la nueva Constitución Política de Colombia, la protección y el cuidado del medio ambiente cobró relevancia al ser incluida con varios artículos de manera expresa. Estos dos instrumentos normativos, junto con la Ley 99 de 1993, han abierto el camino para la promulgación e implementación del Decreto 1640 de 2012. Este decreto tiene como objeto, entre otros, los siguientes:

a. El Articulo 316 del Decreto Ley 2811 de 1974 en relación con los instrumentos para la Planificación, Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas y Acuíferos del país, de conformidad con la estructura definida en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.
b. Para el adecuado y armónico manejo de áreas de confluencia de jurisdicciones entre las Corporaciones Autónomas Regionales y el istema de Parques Nacionales y o reservas crea: a) Las Comisiones Conjuntas de cuencas hidrográficas comunes, b) Procedimientos de concertación.

Para fines de la realización de estudios para la planificación ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y los acuíferos del país, se visionan 5 grandes cuencas o áreas hidrográficas así:

- Macrocuenca o área hidrográfica del Magdalena Cauca.
- Macrocuenca o área hidrográfica del Pacifico.
- Macrocuenca o área hidrográfica del Caribe.
- Macrocuenca o área hidrográfica del Orinoco.
- Macrocuenca o área Hidrográfica del Amazonas.

Cada una de estas macrocuencas o áreas hidrográficas a su vez se subdivide en varias zonas hidrográficas y cada una de estas en sub zonas hidrográficas, microcuencas y acuíferos.

2. Desarrollo

En el Valle de Aburrá, mediante el programa RedRío, se están adelantando acciones dentro de las cuales el patrimonio hidríco está siendo evaluado; tanto el agua superficial como el agua subterránea.

El municipio de Envigado es uno de los 10 municipios de la región metropolitana del Valle de Aburrá, una de las regiones más importantes del departamento de Antioquia, uno de los 125 municipios del departamento de Antioquia, uno de los 1050 municipios de Colombia; con méritos y reconocimiento en el Departamento Nacional de Planeación, de categoría 1, con una población de 224.000 habitantes al año 2016, con un área urbana de 15 km2, el 85 % de su población reside en la zona urbana, con lo cual es evidente que hay una alta presión de uso del suelo urbano.

El municipio de Envigado se tiene a nivel departamental y nacional como ejemplo de liderazgo en desarrollo administrativo y organizacional que basa su progreso continúo en la ejecución de obras que redundan o en beneficio del territorio o en beneficio de la ciudadanía. Se distingue por la alta calidad de sus líderes y de sus gentes, que aman su historia y su tradición.

Considerado por Planeación Nacional como "el mejor vividero del país", diciendo que tiene los mejores indicadores de calidad de vida de la región y el gran reto es mejorar su infraestructura de movilidad.

Tomando como fuente el periódico Institucional AMVA El Metropolitano del Valle de Aburrá N° 3 del 1 de julio de 2016, esto es Envigado en cifras:

0,7%	Tasa de analfabetismo al 2015
100%	Cobertura de servicio público de acueducto
100%	Cobertura de servicio público de energía
98,7%	Cobertura de servicios públicos de alcantarillado
100%	Cobertura de servicio público de aseo
98,8%	Cobertura Servicio público de gas
69,9%	Uso de transporte publico año 2015
3,5%	Tasa de desempleo en el 2015
73,62%	Índice de calidad de vida
11	Tasa de homicidios año 2014 por cada 100.000 habitantes,
79	Tasa de hurto vehículos año 2012
110	Tasa de hurto motos - bicicletas año 2012

El 10 de julio de 2016 los ciudadanos envigadeños, los líderes natos, el alcalde y el Concejo Municipal, en consulta popular toman la decisión de adherirse a la Asociación de Municipios de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá, que es la unidad geográfica que agrupa a los 10 municipios para la construcción de mejores posibilidades acordes con los retos y oportunidades del futuro. Con esta decisión el municipio de Envigado asume como autoridad ambiental en la zona urbana al AMVA y en la rural continua como autoridad ambiental la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA.

Uno de los puntos de partida para dar continuidad y fortalecimiento a proyectos iniciados por parte de la administración municipal, es el de contar con la autoridad ambiental.

La Administración Municipal consciente de su deber constitucional de cuidar el patrimonio natural y el patrimonio hídrico y de la importancia que tienen las aguas subterráneas, que se ubican en su jurisdicción, se esmera por brindarles un adecuado manejo y conservación, adelanta gestiones tendientes a diagnosticar y legalizar estas fuentes y sus aprovechamientos aunque no es esta una tarea fácil ya que las personas que tienen en sus predios una fuente de agua sea superficial o subterránea, tienden a pensar que por estar estas fuentes en sus predios tienen el derecho natural a usufructuarla, cosa que no es así, generándose en ocasiones conflictos y dificultad en el proceso de legalización de las fuentes tanto superficiales como subterráneas. Este argumento podría ser la base de la falta de legalización de concesiones de aguas superficiales o visibles y con mayor razón se explicaría la informalidad o falta de legalidad en el uso de las aguas subterráneas o invisibles.

En el municipio de Envigado y el Valle de Aburrá adquieren especial importancia las aguas subterráneas como recurso a aprovechar en actividades productivas diversas y en situaciones de cambio climático como fenómeno de El Niño que genera sequía y reducción de los caudales en las fuentes superficiales que abastecen acueductos veredales y/o comunitarios.

A continuación, presentaremos una aproximación a las acciones que en el municipio de Envigado, la Administración ha venido realizando desde tiempo atrás.

3. Reseña

Dos enfoques en este ejercicio, por un lado los estudios relacionados con el recurso hídrico superficial y aguas subterráneas y por otro lado, las acciones en materia de aguas subterráneas dentro del ejercicio planificador de ciudad desde el punto de vista ambiental y para su cuidado y protección.

En cuanto a estudios realizados desde la Administración Municipal a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario se han destinado inversiones presupuestales tendientes a tener estudios territoriales de naturaleza ambiental y técnica que brinden información sobre las aguas subterráneas:

1. Estudio de oferta del recurso hídrico de las principales Cuencas Hidrográficas del Municipio de Envigado, contrato de consultoría 180 99, realizado por Alfa y Omega Ingenieros Ltda. Año 1999.
2. Identificación y Clasificación, Características Hidrogeológicas de los Humedales y Evaluación de Zonas de Recarga y su Relación con la Geología y las Corrientes del Municipio de Envigado, estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Instituto del Agua en el año 2005.
3. Estudio para la elaboración del Plan de Manejo Ambiental del Humedal ubicado en el Barrio El Trianón del Municipio de Envigado, Antioquia, realizado por AUDICON Asociados Ltda. Año 2007.
4. Formulación de Ordenamiento y Manejo de la Subcuenca Ayurá, estudio realizado por la unión temporal Universidad de Antioquia y Corporación Académica Ambiental Holos. Año 2008.

En cuanto a la inclusión de las aguas subterráneas en el ejercicio planificador para la protección y el cuidado del medio ambiente y para la construcción de ciudad, una mirada a los planes municipales:

a. El Plan de Desarrollo Envigado 2016-2019 Vivir mejor, incluye el tema en su Componente Estratégico y en su Plan de Inversiones del cuatrienio. (Envigado, 2016-2019)

b. El Plan de Ordenamiento Territorial Envigado 2011-2023, reglamentado mediante el acuerdo 10 del 2011, incluye las aguas subterráneas:

   A. Segunda Parte: Componente General, en Titulo II: Modelo de Ordenamiento territorial, en Capítulo 1: Objetivos Estrategias y Políticas en Artículo 13: de los Objetivos y Estrategias: Para concretar el modelo de ocupación del territorio y alcanzar el imaginario de ciudad deseado se adoptan los siguientes objetivos: …en su Objetivo 2: Proteger la Estructura Ecológica para garantizar la estabilidad y sostenibilidad de la estructura territorial, Estrategia 3: *Proteger los sistemas de humedales y zonas de recarga de acuíferos municipales así como los suelos con alto contenido de cenizas volcánicas.*

   B. Segunda parte: Componente General, Título III Sistema Estructurarte, artículo 37: manejo del área de protección de los nacimientos, humedales y aguas subterráneas…para el humedal del Trianón se establece un retiro igual, al actualmente identificado en la correspondiente cedula catastral, zona en la que se aplicaran las disposiciones que al respecto adopte la zonificación que se incorpore en el Plan de Manejo Ambiental del Humedal El Trianón y las normas que dispone el POMCA del rio Aburrá.(Envigado C. M., 2011)

   Acorde con lo establecido en el decreto nacional 2372 de 2010 (derogado por el Decreto 1640 de 2014, subsumido por el Decreto 1076 de 2015) o la norma que lo modifique, adicione o sustituya, los usos previstos para las zonas calificadas como áreas de protección de los nacimientos, humedales aguas subterráneas y zonas de recarga hídrica solo podrán atender el objetivo de conservación de la zona, promoviendo la protección, recuperación y mantenimiento de especies nativas que permitan la conservación y regulación del caudal del agua, de la fauna y la flora, de conformidad con lo establecido en el presente acuerdo y las normas que lo desarrollen y complementen.

   Parágrafo 2, establece que *"la administración Municipal adelantará en el mediano plazo el estudio que permita la identificación, la caracterización y adopción de medidas de manejo para las aguas subterráneas que existan en el territorio, así como los mecanismos para legalizar su uso".*

c. En el Plan de Gestión Ambiental Municipal PEGAM 2013-2030, reglamentado mediante Acuerdo N° 029 de septiembre de 2015, crea y reconoce el SIGAM - Sistema de Gestión Ambiental Municipio de Envigado con su carta de navegación el PGAM. En la fase de diagnóstico del componente hídrico, se anota: "El conocimiento sobre las aguas subterráneas en el municipio es muy limitado, se cuenta con la información contenida en los expedientes que posee la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario". En cuanto al recurso de aguas subterráneas la información que se tiene es la compilada por la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia CORANTIOQUIA y por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá para la zona urbana (2002) y el estudio de Identificación, Clasificación, Características Hidrogeológicas de los Humedales y Evaluación de Zonas de Recarga y su relación con la Geología y las corrientes del municipio de Envigado (2005). Posterior al año 2005 no se han realizado estudios en el municipio de Envigado, referentes al tema de Aguas Subterráneas (Envigado & Corantioquia, 2013)

d. *Revisado el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá 2007*,

   Reglamentado mediante Acuerdo Metropolitano No 02 del 4 del 12 de 2007

   Se encuentra que dentro de las zonas de protección ambiental, se incluye las zonas de recarga de aguas subterráneas, así: "Son áreas que presentan condiciones adecuadas para la recarga de aguas subterráneas. Estas fueron identificadas con base en el mapa de unidades litológicas por ser unidades con condiciones de porosidad y conductividad que se perfilan propicias para la recarga, pero no se han comprobado con estudios de detalle y trabajo de campo, por lo que por ahora deben tomarse de manera indicativa y deben ser analizadas y revisadas posteriormente". Este plan incluye el municipio de Envigado (ABURRÁ, CORNARE & CORANTIOQUIA, 2007)

e. Revisión expedientes de concesiones de aguas subterráneas en el municipio de Envigado, Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario, como autoridad ambiental delegada

por el Área Metropolitana. En la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario del Municipio se tiene registro de 20 captaciones de agua subterránea. De ellas 5 (cinco) se encuentran legalizadas, cinco (5) en trámite de legalización y las otras diez se les adelanta requerimiento para su legalización. De las captaciones legalizadas, cinco (5) utilizan el agua para procesos de industria (lavado de vehículos, fabricación de automotores, lavado de vidrio, labores de limpieza y vivero). Cuatro (4) aprovechamientos de agua subterránea son tipo aljibe y uno es pozo profundo. El caudal total asignado es de 5.47 l/s.

f. Dentro de los requerimientos que por parte de la autoridad ambiental se hacen para un adecuado manejo del recurso, se tienen:

- Presentar resultados de análisis físico químico y bacteriológico de las aguas subterráneas.
- Presentar informe del mantenimiento y limpieza del aljibe.
- Presentar reporte que contenga la información del caudal aprovechado levantado del contador del agua que sea adelantado por empresa certificada.

g. Desde el año 2015 se viene formulando por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá como autoridad ambiental urbana en convenio con la Universidad de Antioquia el PMAA Plan de Manejo Ambiental del Acuífero del Valle de Aburrá. El componente participativo de este plan ha sido nutrido con la concurrencia de todos los actores territoriales del Valle de Aburrá, incluída la administración municipal de Envigado como actor institucional.

h. Entre el municipio de Envigado y la Corporación Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia se ha suscrito el Convenio de Cooperación N° 15-00-09-31-029-17 cuyo propósito es el de “Aunar esfuerzos para realizar una investigación de la conectividad hidráulica entre los Acuíferos y las fuentes de agua superficiales en el Municipio de Envigado, a fin de implementar un modelo donde se incluya un análisis del comportamiento del flujo subterráneo con un nivel de detalle superior”.

4. Conclusiones

En el municipio de Envigado se han adelantado dos estudios hidrogeológicos en los años 2005 y 2007.

Las aguas subterráneas están incluidas en el ejercicio planificador de ciudad:

En el POT 2011-2023 | En el PGAM 2013-2030 | En el POMCA del rio Aburra 2007.

En la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario se tienen expedientes de legalización de concesiones de aguas subterráneas.

Dentro del ejercicio planificador para el municipio de Envigado las aguas subterráneas localizadas en su territorio han sido tenidas en cuenta en el Acuerdo de modificación del Plan de Ordenamiento Territorial, en el Sistema de Gestión Ambiental Municipal SIGAM y en la consolidación, ajuste y adopción del Plan de Gestión Ambiental y del Estatuto Ambiental.

5. Referencias

Aburrà, A. M. (Julio de 2016). El Metropolitano del Valle de Aburrà. Obtenido de http://www.metropol.gov.co/Periodico/Numero3_julio2016.pdf

ABURRÁ, Á. M., CORNARE, & CORANTIOQUIA. (2007). PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ

Código de Recursos Naturales Renovables; Decreto Ley 2811 de 1974. (1974). Obtenido de http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Decreto-Ley-2811-de-1974-Codigo-de-Recursos-Naturales-Renovables.pdf

Envigado, A. d., & Corantioquia. (2013). Plan de Educación Ambiental Municipal. Envigado.

Envigado, C. M. (2011). Plan de Ordenamiento Territorial 2011-2023. Envigado.

Envigado, M. d. (2016-2019). Plan de Desarrollo Municipal . Envigado.

Ideam. (2014). HIDROLOGÍA. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/hidrologia

Instituto de Hidrologí¬a, M.¬a. y. (2010). Estudio Nacional del Agua. Bogotá.

Aspectos legales para estudios hidrogeológicos en obras civiles. Reflexiones sobre las bondades de su aplicación

María Victoria Vélez O.
Servicios Hidrogeológicos Integrales
maria.velez@shi-colombia.com

1. Antecedentes

Hasta hace unos 20 años, no se consideraba en las obras civiles, el impacto ambiental que éstas podrían ocasionar en los recursos naturales, particularmente en los recursos hídricos.

Actualmente, la legislación colombiana, tiene estipulados prácticamente todos los términos de referencia, en lo concerniente a estudios hidrogeológicos, para las diferentes obras civiles: carreteras, túneles, proyectos mineros, proyectos hidroeléctricos, rellenos sanitarios, etc.

Los ejecutores y diseñadores de éstas, ven estos términos como un obstáculo más, el cual deben sortear antes de emprender cualquier tipo de obra. Sin embargo, si se aplican cuidadosamente la mayoría de estos requerimientos legales, puede obtenerse un ahorro de tiempo y dinero que permitirá evitar conflictos legales, mitigar impactos y mejorar la planeación de este tipo de obras

Adicionalmente, en la mayoría de los estudios de prefactibilidad y factibilidad se levanta gran cantidad de información, que ayudaría no solamente a cumplir con los requisitos de ley exigidos, sino que su análisis cuidadoso, facilitaría la ejecución de las obras y el cumplimiento de los términos de referencia, exigidos por la legislación colombiana.

Se presentan en este artículo algunas reflexiones sobre los algunos aspectos hidrogeológicos exigidos en esos términos de referencia y su utilidad práctica.

2. Requerimientos de los Términos de Referencia en Aspectos Hidrogeológicos

Prácticamente todos los términos de referencia relacionados con la hidrogeología, en obras civiles, minería y exploración de hidrocarburos exigen analizar y levantar la siguiente información:

- Precipitación: media diaria, mensual y anual; y su distribución en el espacio.
- Evaporación.
- Descripción de los patrones de drenaje a nivel regional, el régimen hidrológico y los caudales característicos de las principales corrientes y de aquellas a intervenir a partir de los registros históricos o calculados de datos diarios de caudales máximos, medios y mínimos (o mensuales, si no existen registros diarios).
- Tipo de acuífero.
- Redes de flujo del agua subterránea (determinadas con red de monitoreo o estimada)
- Zonas de recarga y descarga naturales de los acuíferos
- Inventario de manantiales y puntos de agua
- Inventario de usos y usuarios del recurso hídrico

Se analizaran algunos aspectos de estos términos, en los que éstos, más que un requisito a cumplir, pueden constituirse en una gran ayuda para los diseñadores y ejecutores de obras civiles.

3. Análisis de la Precipitación

Todos los términos de referencia, mencionados anteriormente, incluyen el tema de análisis de precipitaciones, la cual tiene gran influencia en los cronogramas y costos de las obras.

El análisis de parámetros climáticos, como la precipitación, ayudará a definir temas como el ciclo de precipitación anual, lluvias máximas, precipitaciones promedias anuales, etc.

Gran cantidad de información hidrometeorológica, se puede consultar en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, que además de los registros de las estaciones de precipitación que esta entidad tiene en todo el país, cuenta con una amplia variedad de mapas que ayudarían a los ejecutores de obras civiles, en estos temas.

Por ejemplo, esta entidad maneja mapas a nivel de país y departamental de precipitaciones promedias anuales, número total de días con lluvia al año y lluvias máximas diarias multianuales, tal como se presentan en las figuras 1, 2 y 3 respectivamente

En el caso de Antioquia, tal como lo muestra la figura 2, la mayoría del territorio presenta en el año, más de 200 días con lluvia. Solo el análisis de estos mapas, contribuiría a optimizar la planeación de trabajos en una obra civil: se podrían calcular por ejemplo, extracostos por lluvias, posibles épocas para tratar de avanzar al máximo las obras (en época seca), logrando ahorros de tiempo y dinero y posibilitando la implementación de medidas de control de inundaciones, etc.

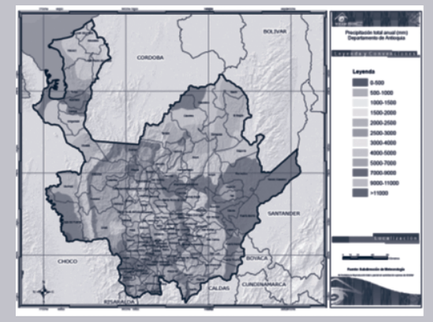
4. Aspectos Hidrogeológicos en Obras Civiles

4.1 Excavaciones.

En algunas obras civiles, como carreteras, construcción de edificaciones entre otras, es necesario la ejecución de excavaciones y movimientos de tierra. Hacer este tipo de obras sin consideraciones de orden hidrogeológico, podría ocasionar algunos problemas.

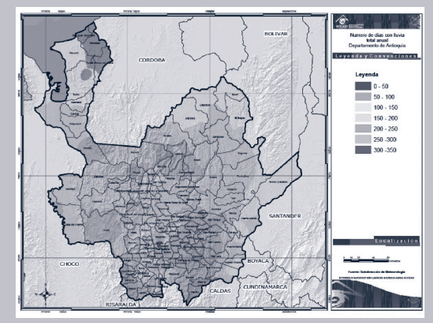
En la figura 4 tomada de Preene et al 2003, se puede observar el efecto de una excavación en una zona de ladera, tal como las muchas que existen en la zona andina colombiana.

Figura 1. Precipitaciones Promedias Anuales en Antioquia



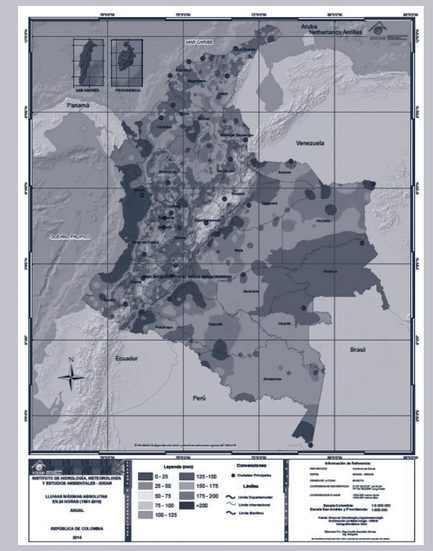
Fuente Ideam. (http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html)

Figura 2. Numero de días con lluvia en Antioquia



Fuente Ideam. (http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html)

Figura 3. Lluvias máximas diarias



Fuente Ideam. (http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlas Climatologico.html)

Un conocimiento previo de los niveles freáticos y del tipo de acuíferos (como lo exigido en los términos de referencia, para carreteras), permitirá estimar en este caso efectos no deseados, como deslizamientos, caída de roca y tierras, magnitud de la afectación del manantial y de caudales en pequeños arroyos aledaños. Además, les permitirá a diseñadores y constructores, una buena concertación con la comunidad para mitigar impactos.

4.2 Fundaciones

En zonas planas, grandes conjuntos de edificios, con sus fundaciones, pueden constituir un obstáculo al flujo natural, (figura 5), causando sobreelevaciones de los niveles freáticos, que pueden ocasionar a su vez inundaciones y daños materiales a las edificaciones. Cumplir las exigencias, desde el punto de vista hidrogeológico, que exigen los estudios de Impacto Ambiental (modelo hidrogeológico conceptual, modelamiento numérico del acuífero) ayudará a tomar las medidas de mitigación más apropiadas evitando impactos no deseados en las edificaciones y sus vecindades.

4.3 Excavaciones a gran profundidad

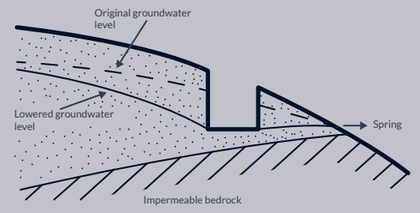
En las ciudades, frecuentemente se hacen excavaciones a gran profundidad para edificios, empleadas luego como sótanos para parqueaderos (figura 6).

Este tipo de excavaciones necesita un buen conocimiento hidrogeológico de la zona, que permitiría calcular posibles descensos del nivel freático, diseñar un sistema óptimo de bombeo para mantener sótanos y parqueaderos sin agua, cálculo de posibles subsidencia al abatir niveles freáticos y determinar posibles afectaciones de los inmuebles vecinos evitando conflictos con las comunidades de la zona.

4.4 Control de Deslizamientos

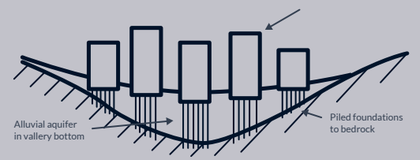
Los deslizamientos de tierra son uno de los riesgos naturales más importantes en todas las regiones montañosas y en Colombia han

Figura 4. Efecto de una excavación en los niveles freáticos y en un manantial.



Fuente Preene et al 2003

Figura 5. Barreras al flujo natural de aguas subterráneas.



Fuente Preene et al 2003

Figura 6. Efecto de excavaciones de gran profundidad

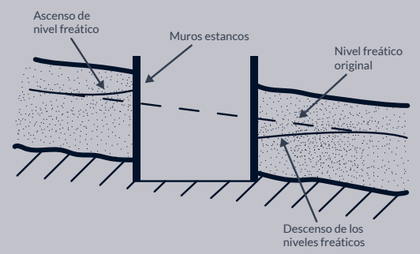
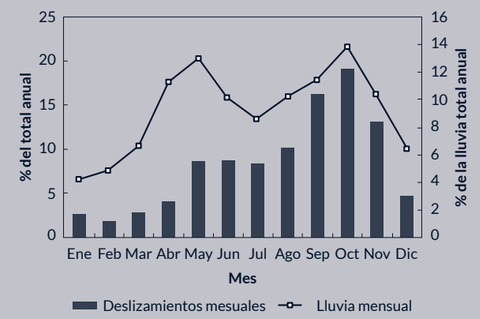
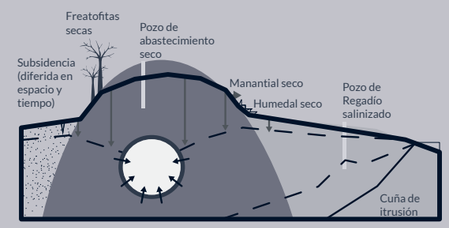


Figura 7. Precipitación promedio mensual vs Frecuencia de deslizamientos en Antioquia


% del total anual
% de la lluvia total anual
Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic
Mes
Deslizamientos mesuales
Lluvia mensual

Fuente Velez et al, 2006

Figura 8. Impacto de un túnel en las aguas subterráneas.



Fuente Carrera et al, 2008

ocasionado gran cantidad de víctimas y grandes pérdidas económicas. Es bien conocido, que el agua es uno de los principales desencadenantes de los deslizamientos de tierra, por aumento de los niveles freáticos, saturación del terreno, disminución de la succión, aumento del flujo de aguas subterráneas.

Según Brönnimann (2011): "……..Es indispensable, para mitigar los riesgos de deslizamiento saber de donde viene el agua subterránea" (Subrayado nuestro).

En Colombia, es un país, donde la mayoría de la población, se asienta sobre la zona andina, donde frecuentemente se producen estos movimientos en masa, la mayoría de los casos relacionados con la temporada de lluvias, ver figura 7.

Las lluvias, junto con el tipo de roca y sus características hidráulicas y la circulación del agua subterránea, son factores que pueden influir en la generación de deslizamientos y movimientos en masa. En otras palabras, el conocimiento del modelo hidrogeológico conceptual es indispensable, en el caso de estudios para prevención y mitigación de este tipo de fenómenos.

4.5 Túneles

En Colombia, la construcción de túneles, particularmente el caso del Túnel de La Línea, ha sido objeto de demandas, por los impactos causados al recurso hídrico, superficial y subterránea de la zona de influencia. Actualmente en Colombia hay un gran auge de obras civiles, que tienen túneles en sus desarrollos, por ejemplo centrales hidroeléctricas, carreteras, desarrollos mineros, en lo que se podrían mitigar estos impactos a través de un estricto cumplimiento de las exigencias de las autoridades ambientales. Para los estudios de prefactibilidad y factibilidad de este tipo de obras, se levanta gran cantidad de información hidrológica, geotécnica, geológica, que puede servir luego para estudiar el tema hidrogeológico, exigido en los términos de referencia de estudios de impacto ambiental. Un túnel se comporta como un dren, tal como lo muestra la figura 8.

Entre los aspectos (hidrogeológicos) legales a tener en cuenta en este tipo de obras están inventario de manantiales y puntos de

agua, determinación de tipos y geometría de acuíferos, zonas de recarga y evaluación de impactos de los túneles en el recurso hídrico superficial y subterráneo. Un estudio juicioso de estos temas puede evitar problemas legales producidos por agotamiento de manantiales y pequeñas corrientes, descensos grandes de niveles piezométricos que producen abandono de pozos y en general litigios legales con los ´pobladores vecinos a la obra.

5. Conclusiones

Cumplir a cabalidad, los especificado por los términos de referencia en lo referente a aspectos hidrogeológicos, en estudios de impacto ambiental en obras civiles, puede resultar en beneficios tales, como optimización de cronogramas de ejecución, disminución de problemas legales, mitigación de impactos sobre el recurso hídrico y menos costos en las obras a ejecutar. El cuadro siguiente muestra estos beneficios

Caracterización del régimen de precipitación (espacial y temporal)

Componente necesaria en el aspecto hidrogeológico de la legislación ambiental

- Optimización en la planeación de la ejecución de obra, que puede verse afectada por lluvia.
- Diseño correcto de obras de drenaje para la evacuación de los excesos de lluvia.
- Disminución de extracostos.

Caracterización del régimen hidrológico (caudales medios y extremos; y su afectación por fenómenos macroclimáticos)

Componente necesaria en el aspecto hidrogeológico de la legislación ambiental

- Prevención de inundaciones en los sitios de obra.
- Posibilidad de usar los drenajes para el suministro de agua para la obra.

Tipo de acuífero, sus características y las redes de flujo

Componente necesaria en el aspecto hidrogeológico de la legislación ambiental

- Prevención de posibles infiltraciones a obras subterráneas.
- Prevención de deslizamientos en cortes para vías.
- Prevención de afectaciones a manantiales o pozos existentes
- Evitar problemas legales

Zonas de recarga y descarga

Componente necesaria en el aspecto hidrogeológico de la legislación ambiental

- Adquisición temprana de predios estratégico para realizar compensaciones ambientales.
- Conservación del recurso hídrico.

Caracterización de usos y usuarios

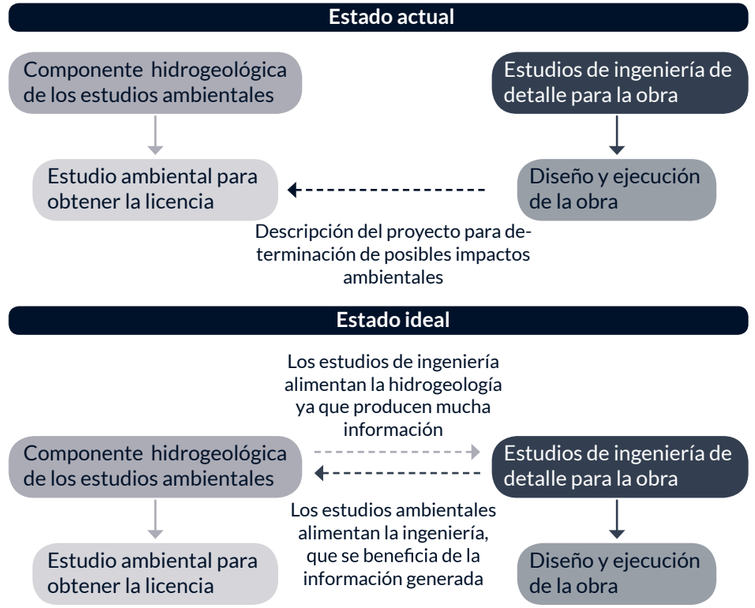
Componente necesaria en el aspecto hidrogeológico de la legislación ambiental

- Prevención de posibles afectaciones.
- Mejores relaciones con la comunidad.
- Evitar conflictos legales.

El diseño y construcción de obras civiles exige el levantamiento de gran cantidad de información, que podría ser utilizada no solamente para cumplir las exigencias de los términos de referencia, para estudios de impacto ambiental, sino que un análisis cuidadoso de estos términos, permite desmontar el falso paradigma actual, de que solo constituyen talanqueras legales. La figura 8 muestra el escenario ideal, frente al actual.

Finalmente el cumplimiento de las exigencias legales ayuda a cumplir los objetivos de sostenibilidad tanto en materia técnica, ambiental y social (para el contratante), como económicos y financieros (para el contratista).

Figura 8 Papel de la información obtenida en estudios detallados de ingeniería, relacionada con los estudios de impacto ambiental


Estado actual
Componente hidrogeológica de los estudios ambientales
Estudios de ingeniería de detalle para la obra
Estudio ambiental para obtener la licencia
Diseño y ejecución de la obra
Descripción del proyecto para determinación de posibles impactos ambientales
Estado ideal
Los estudios de ingeniería alimentan la hidrogeología ya que producen mucha información
Componente hidrogeológica de los estudios ambientales
Estudios de ingeniería de detalle para la obra
Los estudios ambientales alimentan la ingeniería, que se beneficia de la información generada
Estudio ambiental para obtener la licencia
Diseño y ejecución de la obra

6. Referencias

Carrera, J; Vazquez, E.Sobre la interacción entre acuíferos y obras subterráneas. en el Agua y las infraestructuras en el medio subterráneo. AI-H GE Barcelona, Noviembre,2008

Brönnimann Cornelia Sara. Effect of Groundwater on Landslide Triggering. Tesis de doctorado. 2011. École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

M. Preene; R.Brassington. Potential groundwater impacts from civil engineering works. Water and Environment Journal,2003

Moreno, A; Vélez, M.V; Montoya, J.D; Rhenals, R .La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: Análisis de su ocurrencia en las escalas Interanual, intraanual y diaria.. Revista EIA. N° 5, Junio 2006

Gestión del recurso hídrico subterráneo

Connie Paola López G.
Alba Mery Upegui P.
Universidad de Antioquia

connielopez@gmail.com,
albaupegui@gmail.com

La revisión histórica del concepto cobra importancia al analizar el contexto de las aguas subterráneas en Colombia porque permite reconocer que el concepto es dinámico y en transformación, lo que implica que puede ser adaptado a las necesidades territoriales y hacerlo viable y articulado a la realidad ambiental del país para dar las respuestas efectivas a nuestras problemáticas. Por tanto, es el carácter cultural del concepto el que se retoma y debe ser incluido en la gestión integral, teniendo cuidado de no gestionar *en contra de otros* sino colectivamente.

1. Gestión integral y gestión local

La noción de gestión tiene diversas acepciones de las cuales en su origen posee una fuerte influencia del positivismo y del método científico de generar un proceso riguroso para analizar un problema y darle solución. Por otro lado, el concepto adoptado fuertemente por la disciplina de la administración lo define como un "conjunto de decisiones y acciones que llevan al logro de objetivos previamente establecidos (Salgueiro, 2001: 24). De este modo, ya el concepto toma una forma similar a la entendida hoy en día y aplicada en la relación con la naturaleza y sus componentes.

No obstante, en el origen histórico del concepto se pueden distinguir dos líneas de comprensión del concepto gestión, una conocida como el carácter activo y otra el carácter cultural. El carácter activo de la gestión está estrechamente ligado al concepto de "*estrategia*" y "*Ligado a la guerra*", en este contexto, gestión significa organizar los encuentros aislados con el fin de derrotar/destruir al enemigo, por tanto las "estrategias de gestión" son planteadas para o sobre el otro, o actuar contra el otro (Paulo Freire)[1].

Por su parte, el carácter cultural de la gestión la define como el reconocimiento de las prácticas culturales de una sociedad, un grupo, una organización, una institución. Desde ese reconocimiento, se conduce (-con- con los otros) (-duce- se dirige). Por tanto tiende a la gestación de procesos colectivos, con los otros (y no a pesar de los otros y de lo existente, o contra los otros)[2].

1 Fuente: Huergo. s.a. http://servicios2.abc.gov.ar
2 Fuente: Huergo. s.a. http://servicios2.abc.gov.ar

Es así que en la dinámica histórica se transforma el concepto hasta asumir que "la gestión es un juego de consensos", que requiere la interrelación de dimensiones: no solo empresarial, económica, física, entre otras. Debe reflejar el interés en la sociedad y por tanto, se realiza basada en el dialogo, concertación y algo de descentralización. En complementariedad también aparece la referencia a la gestión local, como respuesta al choque e interacción territorial e ideológica en la escala local, inicialmente, con diferentes culturas, tradiciones y saberes diversos.

Por tanto la gestión local en el marco del agua integra las percepciones de líderes locales, roles sociales de asignación de recursos, diferencias de étnicas y género. Así como los mecanismos y estrategias ya pre-establecidas al orden institucional centrales en la distribución y uso del agua. Al igual que los potenciales conflictos con la institucionalidad. Donde posteriormente serán ejes de análisis clave las nociones de participación, gobernanza y gobernabilidad.

2. ¿Qué se entiende por gestión integral de las aguas subterráneas?

La gestión integral de los recursos hídricos GIRH es reconocido como un concepto empírico, que nace de la propia experiencia de campo de los profesionales. En este sentido, el concepto ha estado presente durante décadas, de hecho, desde la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, en Mar del Plata, en 1977[3].

Posteriormente, en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en 1992 en Río de Janeiro-Brasil[4] y la posterior Agenda 21[5], cuando el concepto de GIRH fue objeto de profundos debates que incluían sus implicaciones en la práctica. A partir de estos y otros múltiples espacios de discusión surge la Global Water Parnertship – GWP que definió la gestión integral de los recursos hídricos GIRH como *"un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales"*. En Colombia es mediante la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico- PNGIRH como se institucionaliza la adopción del país de la GIRH. Esta política expedida en 2010 surge como la culminación de una serie de iniciativas de parte del, en su momento, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT, por establecer directrices unificadas para el manejo agua en el país, que además de apuntar a resolver la actual problemática del recurso hídrico, permitan hacer uso eficiente del recurso y preservarlo como una riqueza natural para el bienestar de las generaciones futuras de Colombianos.

Específicamente y a partir de los lineamientos y acuerdos internacionales y normativos, la gestión integral del agua deberá entonces incluir de modo articulado entre agua superficial y subterránea:

a. La protección y conservación de fuentes y zonas de recarga de acuíferos.
b. Proceso de captación y conducción del agua.
c. La distribución y asignación.
d. El uso y aprovechamiento local.
e. Y de modo transversal de abajo hacia arriba y arriba hacia abajo: el desarrollo de capacidades, la generación de políticas públicas y normar la concertación y articulación y la comunicación y gestión del conocimiento.

3 Anterior a esto en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, que tuvo lugar en Estocolmo del 5 al 16 de junio de 1972, aprobó el Plan de Acción para el Medio Humano, que incluye una amplia serie de recomendaciones referidas al medio humano y a los recursos naturales. Con la finalidad de dar continuidad a las decisiones adoptadas por la Conferencia de Estocolmo las Naciones Unidas establecieron en 1973 el Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (PNUMA). Estas conferencias y y otras posteriores tomaron en cuenta el agua como recurso para ser utilizado por un sector específico y no como un elemento natural indispensable que debe ser considerado de manera integrada y comprensiva. Fue la Conferencia de Mar del Plata, por el contrario, en la cual se adoptó el enfoque totalizador que partió de reconocer que el agua no es sólo un bien para ser usado, sino también un bien para ser protegido y cuidadosamente administrado. http://www.cari.org.ar/pdf/forosdelagua.pdf
4 http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm
5 http://www.minambiente.gov.co/images/asuntos-internacionales/pdf/colombia-20-a%C3%B1os-siguiendo-la-agenda-21/040512_balance_agenda_21.pdf

3. Participación y gobernanza de las aguas subterráneas: de la teoría a la práctica

La participación en Colombia como en el resto de los países se ha ido transformando históricamente. Para el siglo XX las referencias históricas definen el sistema político colombiano como basado en el clientelismo y el autoritarismo, generando una relación en la toma de decisiones compuesta por gobernantes y gobernados. Como respuesta social el país atravesó tiempos de abstencionismo, protesta ciudadana e intensificación del conflicto armado, lo cual se sintetizó en una crisis social. La respuesta institucional fue la oficialización de los espacios de participación ciudadana y políticas descentralizadoras mediante la Ley 11 de 1986. Posteriormente la Constitución de 1991 plantea que se deberá asegurar e incentivar la movilización de la población colombiana. En este sentido se expide la Ley 134 DE 1994 (Mayo 31) "por la cual se dictan normas sobre mecanismos de participación ciudadana". Este marco normativo sella el enfoque político de Colombia a aplicar en todos los ámbitos el ambiental incluido afirmando que el país es un "Estado Social de derecho, organizado en forma de República Unitaria, descentralizada con autonomía de sus entidades territoriales, democrática, participativa y pluralista".

Por tanto el reto que enfrenta la gestión integral del agua subterránea era integrar en su ejecución los lineamientos de política mediante una participación efectiva en un marco de interculturalidad, exigido por la norma y desde muchos actores un elemento central para generar igualdad en el uso, acceso, distribución y toma decisiones sobre el agua como elemento articulador de los territorios. Es así como entra en el contexto de la gestión la noción de Gobernanza como una posible forma de participación que propende por la concertación y articulación entre actores a múltiples niveles.

Pero esta noción trae múltiples interrogantes y preguntas de discusión como ¿Es la GIRH con participación efectiva la que puede aportar a construir gobernanza del agua? o por el contrario ¿la GIRH debe realizarse bajo los criterios de una "buena gobernanza"? y de ser así ¿Quién define que es la "buena gobernanza"? en un contexto pluri-étnico y multicultural como el de Colombia. Entonces abordar este tipo de gestión con miras a la gobernanza implica abordar el ¿Análisis de actores y la desigualdad de poderes con la cual si puede existir participación? ¿Será que diversos niveles de participación son posibles pero la gobernanza es una utopía sino se reconfiguran o equilibran los poderes en el uso, manejo, acceso y toma decisiones sobre el agua?

Son interrogantes que quedan abiertos para la reflexión de la gestión integral del agua subterránea (GIAS) en un contexto de participación y gobernanza. Por tanto los retos y oportunidades de la GIAS deberán incluir diversos aspectos clave como:

1. Conflictos: La identificación de conflictos reales y potenciales, debido a que la presión sobre el agua puede constituirse en un factor que agudice conflictos entre actores
2. Negociación: La negociación de conflictos ambientales para garantizar el acceso a los recursos de las poblaciones más vulnerables y los ecosistemas frágiles.
3. Organización: Los niveles de organización para una adecuada gestión del agua, donde una posibilidad explorada por diversos países incluye la descentralización sectorial e integración de las poblaciones locales en su organización, manejo, administración y aprovechamiento
4. Normativa: El fortalecimiento, aplicación y creación de políticas públicas y normativa local que reconozcan las particularidades ambientales, territoriales y culturales. Para Colombia contamos como referentes clave con Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) (2010)[6], Programa Nacional de Aguas Subterráneas –PNASUB (2014)[7] y la Guía metodológica para la elaboración de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (MADS, 2014)[8].

6 http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n_/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf
7 http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/acuiferos/programa-nacional-de-aguas-subterraneas#documentos-de-interés
8 http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/acuiferos/Guia-metodologica-para-la-formulacion-de-planes-de-manejo-ambienta-de-acuiferos.pdf

Finalmente como ejercicio de síntesis y apoyo a las reflexiones futuras se recogen las percepciones y discusiones llevadas a cabo, en el marco del Diplomado en Hidrogeología y Gestión de Acuíferos, teniendo en cuenta el proceso de formación y lecturas realizadas, acerca de los retos y oportunidades de la participación, gobernanza, gestión local y gestión integral en las aguas subterráneas.

Eje de reflexión

Participación y agua subterránea

Retos

- Invisibilidad del recurso en el imaginario colectivo
- Dificultad para limitar el acceso de nuevos usuarios
- El uso por parte de un usuario restringe el uso por parte de otro
- Fragmentación de la gestión del agua superficial y agua subterránea

Oportunidades

- Recurso renovable
- Existen modelos participativos de gestión
- Apertura de la participación pública a la gestión del agua
- Aparición de movimientos sociales

Eje de reflexión

Gobernanza y aguas subterráneas

Retos

- Uso principalmente motivado por privados
- Escaso control de organismos competentes
- Gestión colectiva no es suficiente
- Requiere colaboración entre administrador y administrado
- Asimetría de la información: el agente regulador encuentra unos costos muy altos y una dificultad grande en tener información fiable y actualizada sobre el uso del agua subterránea.

Oportunidades

- Análisis de las experiencias de co-gestión y autoregulación de las aguas subterráneas como salida a la "tragedia de los comunes"
- Existencia de organizaciones colectivas
- Existencia de casos de "buena gobernanza"

Eje de reflexión

Gestión integral y agua subterránea

Retos

- Requiere cambiar la forma de pensar
- Es fundamental monitorear el progreso
- Su implementación toma tiempo y requiere compensaciones mutuas (trade-offs)
- Deben llevarse a cabo procesos de arriba hacia abajo y abajo hacia arriba, simultáneamente y deben ir articulados
- Requiere coordinación entre actores, financiación y sobrepasar las barreras institucionales

Oportunidades

- Definir prioridades de modo concertado
- Aporta a temas del desarrollo: Adaptación al cambio climático, mitigación de desastres, seguridad alimentaria, reduce los riesgos en salud, salud de los ecosistemas acuáticos, aporta al manejo del agua dulce y costera, y manejo de agua y suelo, asegura la sostenibilidad de la infraestructura para el agua, aporta a la planeación de colaboración transfronteriza y al manejo de la relación agua – energía

Referencias

Eastman, W. N. y Bailey, J.R. 1994. Examining the origins of management theory: value divisions in the positivist program. Journal of Applied Behavioral Science Vol.3 Sept. 1994, 313-328 p.

Flisfisch, Ángel. 1989. Gobernabilidad y consolidación democrática: sugerencias para la discusión. Revista Mexicana de Sociología. Vol. 51, No. 3 (Jul. - Sep., 1989), pp. 113-133

Hernández-Mora, N. 2008. Participación pública en la gestión de las aguas subterráneas: Visión desde la sociedad civil. En: Las aguas subterráneas en España ante las Directivas Europeas: retos y perspectivas. (AIH-GE. Pp: 177-197

Integrated Water Resources Management in Action. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP), DHI Water Policy, PNUMA-DHI Centro para el Agua y el Medio Ambiente. 2009

López-Gunn, E. y Rica, M. 2013. La participación activa de los usuarios: la co-gestión como forma de gobernanza del agua subterránea. En: Gestión colectiva del agua subterránea en España. Fundación Botín.

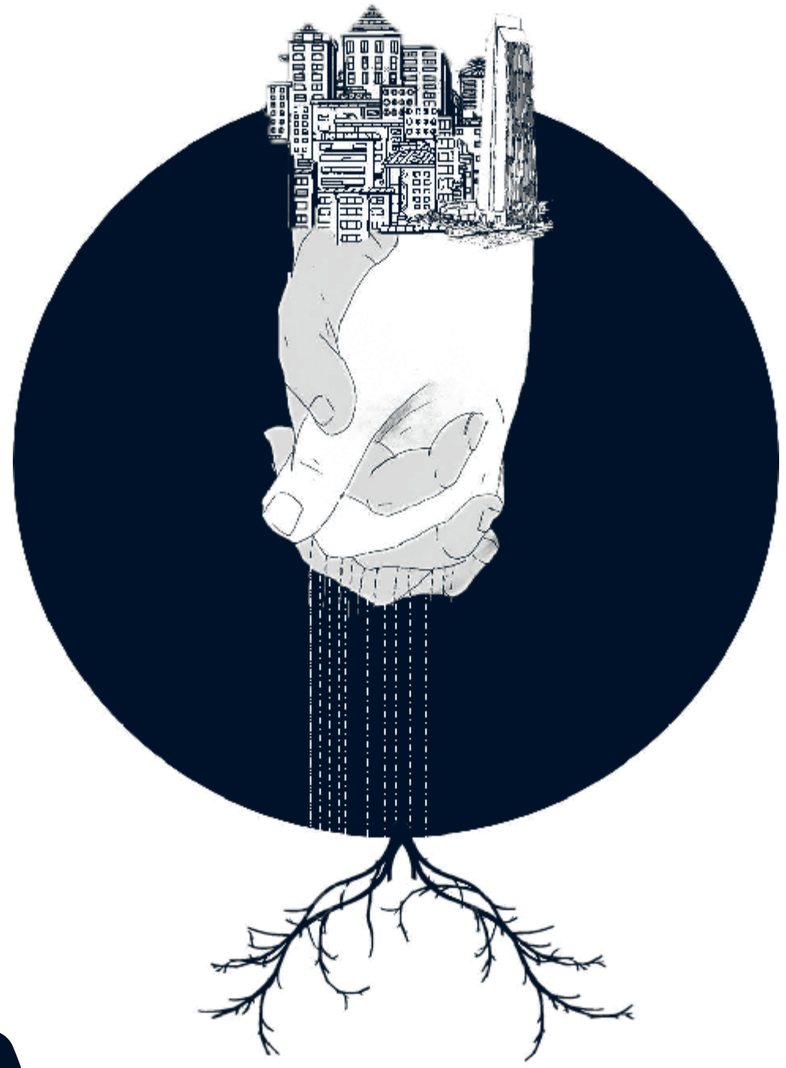
Planas Olivella, J. M. 2013. Los retos y oportunidades de la gestión colectiva del agua subterránea en España. En: Gestión colectiva del agua subterránea en España. Fundación Botín.

Salgueiro, A. 2011. Indicadores de gestión y cuadro de mando. España: Editorial Díaz de Santos.

Velásquez, F. y González, E. 2003. ¿Qué ha pasado con la participación ciudadana en Colombia?

http://servicios2.abc.gov.ar/lainstitucion/univpedagogica/especializaciones/seminario/materialesparadescargar/seminario4/huergo3.pdf

http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml



Planeación participativa y diálogo de saberes para la gestión de las aguas subterráneas. Algunos casos de estudio en Antioquia y la Guajira.

Deisy Yurani Rivera A.
Carlos Guillermo Mora A.
Angel José Cardona P.
Universidad de Antioquia

deisyra14@gmail.com,
moraucu@gmail.com,
angelcar431833@gmail.com

Este escrito presenta una reflexión acerca del rol que tiene el saber cotidiano, frente a la formulación de instrumentos de gestión que involucran decisiones en torno al recurso hídrico subterráneo, introduciendo como ejemplo, las experiencias participativas de algunos planes de manejo ambiental de acuíferos realizados en Antioquia y la cuenca del río Ranchería en La Guajira – con el acompañamiento de la Universidad de Antioquia- y en convenio con autoridades ambientales-. Esta lectura y síntesis de información ayudó a determinar si efectivamente en Colombia, se está llevando a cabo un diálogo de saberes para la toma de decisiones o si por el contrario, a pesar de que la legislación lo estipule, la planeación continúa siendo vertical o concentrada en algunos sectores.

Fundamentación conceptual

En Colombia, los esfuerzos institucionales por generar normatividad y herramientas de gestión que permitan unas prácticas adecuadas frente al uso del agua subterránea han derivado en herramientas como los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos, los cuales incluyen gran parte de su metodología en estrategias participativas y comunicativas. Así, uno de los retos más importantes en el planteamiento y ejecución de estos planes, no es solo el desarrollar los estudios hidrogeológicos pertinentes para el conocimiento físico del acuífero, sino que, además, plantea la necesidad de involucrar a los usuarios y a las autoridades en la transferencia y apropiación del conocimiento, para lograr una participación que se acerque a un ejercicio democrático, de incidencia y de toma de decisiones conjuntas frente a lo esencial para la vida: el agua.

Se parte de la idea de que la planeación participativa surge en el marco de la crítica a la planeación convencional, en la cual los procesos de planificación se construyen verticalmente, es decir, que estos son decisiones unánimes de los dirigentes políticos, académicos, entre otros, desconociendo así los saberes y necesidades socialmente sentidas por las comunidades y poblaciones intervenidas en el proceso de planificación (Betancur et al., 2012). Uno de los factores que llevó a que el modelo de planificación tuviera otras posturas, obedeció a que las comunidades y poblaciones intervenidas no se apropiaban por desconocimiento y desinterés de las iniciativas, ocasionando que las acciones llevadas a cabo en el proceso de planificación fueran de carácter contingente y no perduraran en el tiempo, generando grandes pérdidas en la orientación de los recursos económicos públicos invertidos (CORPOURABA y Universidad de Antioquia, 2016). En este sentido, surge la planeación participativa, la cual tiene entre sus aspectos básicos orientadores el diálogo entre actores, la construcción de conocimiento y la focalización en las necesidades locales y específicas de las comunidades y poblaciones. Según la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), 2002, la investigación participativa es una estrategia de investigación cualitativa que permite la interlocución entre los sujetos sociales para construir conocimiento de manera colectiva, a partir de un diálogo que concede un rol activo a la comunidad y estimula su participación en el diagnóstico y resolución de sus necesidades. Esta estrategia debe estar centrada en el diálogo de saberes como orientación metodológica del proceso de planificación ambiental.

Según Bastidas y Colaboradores (2009) el diálogo de saberes es un proceso comunicativo en el cual se ponen en interacción dos lógicas diferentes: la de conocimiento científico y la del saber cotidiano, con una clara intención de comprenderse mutuamente y que implica el reconocimiento de otro sujeto diferente con conocimientos y posiciones diversas. En este modelo se ponen en juego las verdades, los conocimientos, sentimientos y racionalidades diferentes, procurando la búsqueda de consensos, pero respetando los disensos. Un diálogo en el que ambas partes se transforman.

En Colombia

Varios analistas coinciden que en Colombia la planeación participativa nace con la Constitución de 1991, cuando a las entidades territoriales se les otorgaron recursos, competencias y autoridad política, para que avancen en la reducción de la pobreza y la desigualdad y en la provisión de servicios públicos (Universidad Nacional de Colombia et al., 2010).

Para el caso de las aguas subterráneas, el ejercicio de participación comenzó con el proyecto de Protección Integrada de Aguas Subterráneas- PPIAS (Fase I), allí se integraron aspectos técnicos, sociales, económicos, legales y de participación de actores relacionados con el recurso. Posteriormente, esta experiencia se replicó en Corporaciones Autónomas Regionales, CARDER, CARSUCRE, CORPOGUAJIRA y CVC; en cuyas áreas de jurisdicción, el agua subterránea es un factor de desarrollo social y económico. Mediante la participación ciudadana se logró concientizar a los actores involucrados con el recurso e hicieron aportes importantes al conocimiento del agua subterránea. Solo por citar un ejemplo de las experiencias mencionadas anteriormente, se resalta el programa de educación ambiental y de participación de la comunidad implementado por CARSUCRE; entre los resultados obtenidos se incluyen la toma de conciencia de la comunidad acerca de su papel en la disminución de la contaminación del acuífero, el conocimiento del valor del recurso hídrico subterráneo y la necesidad de protegerlo, la disminución del consumo y aumento del uso eficiente del agua, la socialización continua de investigaciones y amenazas sobre el acuífero y la integración total de las partes técnica, legal, económica, social y ambiental. Las experiencias de CARDER, CARSUCRE, CORPOGUAJIRA y CVC se encuentran plasmadas en los anexos de la Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (2014). Posteriormente, en el Decreto 1640 de 2012, compilado en el Decreto 1076 de 2015 se habla de las instancias de participación para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos (MADS, 2015; 2012). En la Guía Técnica para la Formulación de POMCAS (Planes de ordenación y manejo ambiental de cuenca hidrográfica) promulgada en 2014 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, se propone que el diagnóstico del POMCA, debe ser construido de manera conjunta según las competencias profesio-

> “... ESTA LECTURA Y SÍNTESIS DE INFORMACIÓN AYUDÓ A DETERMINAR SI EFECTIVAMENTE EN COLOMBIA, SE ESTA LLEVANDO A CABO UN DIÁLOGO DE SABERES...”

nales técnicas, jurídicas y personales que tengan los actores que hacen parte de la cuenca, aclarando que la autoridad ambiental debe establecer mecanismos de diálogo e interacción a través del uso de metodologías que se adapten al contexto social y cultural. Posteriormente, la guía metodológica para la formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos PMAA (MADS, 2014), menciona que, en la etapa de diagnóstico, se debe diferenciar entre los aspectos físicos y sociales, y que, para los últimos, la investigación participativa representa una herramienta de recolección de información que permite acercase a la comprensión de la realidad potenciando espacios de acción y transformación del contexto ambiental a favor de los ecosistemas y de las poblaciones que los habitan.

Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos: experiencias de planeación participativa

Algunas experiencias que se destacan en este texto en relación con la formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuífero consideran la participación: en el 2010, el PMAA del Bajo Cauca antioqueño (CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia, 2010; 2014), toman luego los aprendizajes con la realización del PMAA de la cuenca del río Ranchería (CORPOGUAJIRA et al.,2013;2015), el PMAA del Golfo de Urabá (CORPOURABA y Universidad de Antioquia, 2016) y con el plan de manejo del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad de Antioquia, 2015) el cual inició la fase de diagnóstico en el año 2015 y actualmente está en curso la fase de formulación.

Hay que recordar que las fases de diagnóstico de los PMAA inician con el diseño de un modelo hidrogeológico conceptual, el cual se da a conocer mediante una estrategia de participación que convoca a actores claves pertenecientes a diversos sectores (social, político, económico, académico, entre otros) que tienen relación con el agua subterránea, que conocen el territorio intervenido y desde allí realizan valiosos aportes para la formulación de los planes de manejo en cuanto a las problemáticas del acuífero, los escenarios deseados, la priorización de proyectos y los indicadores de seguimiento, entre otros aspectos. Dentro de los ejemplos mencionados, para el trabajo conjunto entre el equipo de trabajo de los PMAA y los actores clave se abrieron espacios para la realización de talleres para la contextualización y validación de asuntos técnicos, para la identificación de escenarios prospectivos y la formulación de proyectos de los PMAA.

En la metodología de los talleres participativos se destaca el diálogo de saberes, se involucran técnicas y herramientas para la recolección de información (experiencias y saberes) como grupos focales, cartografía social y formularios cuantitativos, entre otras. No obstante, de acuerdo al contexto y necesidades encontradas en cada territorio, estas herramientas se adaptaron y modificaron con el fin de recoger las experiencias y saberes de los diferentes actores, y de contextualizar las problemáticas y objetivos de los PMAA. Desde esta visión se considera que los talleres son espacios participativos donde se realizan procesos interactivos a través de la comunicación interpersonal, que permiten acciones de doble vía, que facilitan incorporar diferentes visiones en relación con el medio ambiente y el desarrollo y en los ambientes rurales constituyen espacios propios de la oralidad primaria (Herrera et al., 2014).

En el marco de los PMAA realizados por la Universidad de Antioquia con distintas corporaciones ambientales se han abierto otros espacios de participación y formación como el Diplomado en Hidrogeología y Gestión de Acuíferos, dirigido a actores clave participantes de los PMAA un espacio que ha sido la sustentación de la planeación participativa por la interacción y el diálogo que se genera entre actores, por la transferencia de información y la apropiación del conocimiento. Este diplomado ha sido dictado por la Universidad de Antioquía en La Guajira, en el Bajo Cauca antioqueño, en el Urabá antioqueño bajo la modalidad de un curso por módulos y recientemente en el Valle de Aburrá.

Otro espacio importante, son las ya mencionadas instancias de participación, y que en los PMAA realizados han surgido a partir del diálogo entre actores y la reflexión en torno al agua subterránea y con la intención de movilizar los distintos intereses consignados en los PMAA, en estos espacios participan las autoridades ambientales competentes, alcaldías, los gremios, mesas ambientales, asociaciones de usuarios locales y demás actores sociales identificados durante la formulación de los PMAA. En La Guajira y en el Urabá antioqueño se conformaron bajo la figura de Mesa de trabajo, la primera mesa se consolidó en La Guajira en el 2015, pero no contó con el acompañamiento necesario para su continuidad; la segunda, Mesa de Trabajo de Acuíferos de Urabá – MACURA- se encuentra vigente gracias a un proceso de fortalecimiento después de su consolidación y del compromiso de los participantes por continuar poniendo en discusión el tema de la gestión del agua subterránea en su región. Actualmente, en el marco del PMAA del Valle de Aburrá, se ha iniciado la consolidación de una instancia de participación, conformada, de manera voluntaria y mediante delegacion de las entidades representadas, por actores que han seguido de cerca la formulación del PMAA.

Es así como a partir de la experiencia de los planes de manejo se ha valorado enormemente la participación y en ese sentido se ha propiciado espacios para que el conocimiento fluya en doble vía y permita la comprensión general en temas de agua subterránea; de esta manera se ha reconocido todos los saberes de los actores implicados en la formulación de los PMAA, y es mediante la participación que les ha sido posible expresar sus realidades en torno a las aguas subterráneas. Es el ejercicio participativo lo que permite tomar decisiones conjuntas y planificar acciones que conduzcan hacia el bien común; un bien común relacionado con el cuidado de nuestros acuíferos.

Discusión

En general, las guías metodológicas de los instrumentos de planificación del recurso hídrico (POMCAS-PMAA) efectivamente mencionan que los tomadores de decisiones deben realizar diagnósticos participativos incentivando a una planeación horizontal que involucre los puntos de vista de todos los actores sociales, siguiendo la técnica del diálogo de saberes. Aun así, presentan una falencia significativa, y es que se expone qué se debe hacer, pero no cómo se debe de hacer. Es por esto que, en el caso de los diagnósticos sociales y participativos de estos planes, no existen argumentos acerca de la uniformidad y articulación en cuanto a la caracterización que se debe realizar. Por lo tanto, a la hora de llevarlos a cabo, existe mucha incertidumbre y se deben tomar en cuenta ejemplos y casos de estudio que no siempre aplican para los territorios que se pretenden estudiar. Las bases conceptuales mencionan que el diagnostico participativo se debe enfocar en la aplicación de metodologías que caractericen el contexto social y cultural. Si se detalla el componente de cultura hídrica, el Programa Nacional de Cultura del Agua aporta en la construcción de patrones sobre el uso, aprovechamiento, conservación y disposición del agua (MADS, 2013). Justo en este punto, podría decirse que uno de los logros de los PMAA ejecutados en el Bajo Cauca, la cuenca del río Ranchería, Urabá y el Valle de Aburrá, radica justamente en la identificación de los conocimientos de los actores del territorio para la concepción de elementos culturales significativos en torno al agua. No obstante, el reto de la planeación participativa en estos momentos en Colombia, no solo radica en adicionar más componentes a la caracterización de un diagnóstico sociocultural, sino también en lograr el empoderamiento de los actores sociales, para que no solo participen en los talleres de diagnóstico y formulación, sino que también se apropien del acompañamiento en la ejecución, seguimiento y evaluación de los programas y proyectos que ayudaron a formular con el objetivo de proteger las aguas subterráneas en su territorio.

Referencias

Bastidas, M., Pérez, F., Torres, J., Escobar, G., Arango, A., & Peñaranda, F. (2009). El diálogo de saberes como posición humana frente al otro: referente ontológico y pedagógico. Investigación y Educación en Enfermería, 27(1), 104-111.

Betancur, T., Fernández, M., Rueda, M., Palacio, P., Benjumea, M., & García, V. (2012). Identificación y reconocimiento de los actores sociales, etapa clave para los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos.

Comisión Económica para América Latina –CEPAL-. (2002). Experiencias y Metodologías de la Investigación Participativa, serie políticas sociales, publicación de las Naciones Unidas, LC/L.1715-P, ISBN: 92-1-322005-7, ISSN: 1564-4162. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile.

CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia. (2010). Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero Dirección Territorial Panzenú en la zona del Bajo Cauca antioqueño.

CORANTIOQUIA y Universidad de Antioquia. (2014). Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Bajo Cauca antioqueño-Fase II. Medellín.

CORPOGUAJIRA, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Universidad de Antioquia. (2013). Fase de Aprestamiento y Diagnóstico del Plan de Manejo Ambiental de Acuífero Sistema Hidrogeológico Cuenca del Río Ranchería. Medellín.

CORPOGUAJIRA, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Universidad de Antioquia. (2015). Fase de Formulación del Plan de Manejo Ambiental de Acuífero Sistema Hidrogeológico Cuenca del Río Ranchería. Medellín.

Corporación Autónoma Regional de Sucre – CARSUCRE. (2005). Proyecto de Protección Integral de Aguas Subterráneas -"Ppias". Acuífero Morroa Sector Sincelejo-Corozal-Morroa. Sincelejo.

CORPOURABA y Universidad de Antioquia. (2016). Plan de Manejo Ambiental de Acuífero Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá. Medellín.

Herrera, E., Rugeles, M., Sotelo, A., & Vega, J. (2014). Emergencia del territorio y comunicación local. Experiencias de comunicación y desarrollo sobre medio ambiente en Colombia. Barranquilla: Universidad del Norte . Obtenido de http://www.uninorte.edu.co/documents/72553/46793be1-8ea9-48bf-a945-d48fbd5a6261.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Decreto 1640 de 2012. Acto Administrativo. Bogotá. D.C.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Decreto 1076 de 2015. Acto Administrativo. Bogotá. D.C.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Programa Nacional de Cultura del Agua. Documento en edición. Bogotá. D.C.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.(2014). Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos. Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.(2014). Guía Técnica para la Formulación de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Bogotá.

Universidad Nacional de Colombia; Universidad Santo Tomás; Escuela Superior de Administración Pública; Universidad Externado de Colombia; Pontificia Universidad Javeriana; Fundación Foro Nacional por Colombia; Fundación Parcomún; Corporación Transparencia. (2010). Fortalecimiento de la Descentralización. El gran reto de Colombia 2010-2014. Bogotá . Obtenido de http://www.rimisp.org/wp- content/files_mf/1399570773Estadodelartedescentralizacionen Colombia.pdf

El pago por servicios ambientales como herramienta para el manejo de las zonas de recarga en el Valle de Aburrá

¿QUÉ SABE EL PEZ DEL AGUA DONDE NADA TODA SU VIDA?
Albert Einstein.

Vanessa García L.
Estudiante del Diplomado en Hidrogeología y Gestión de Acuíferos

vanessa.garcia@metropol.gov.co

Los servicios ecosistémicos son la multitud de beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad. Estos hacen posible la vida humana al proporcionar alimentos y agua limpia; al regular las enfermedades y el clima; al apoyar la polinización de los cultivos y la formación de suelos y al ofrecer beneficios recreativos, culturales y espirituales (FAO, 2017). Adicionalmente, representan el sustento de actividades económicas y el desarrollo social de las comunidades asentadas alrededor del mundo; y si, bien se estima que estos bienes tienen un valor de 125 billones de USD (en 2014), se evidencia que no reciben la atención adecuada en las políticas y normativas económicas, lo que significa que no se invierte lo suficiente en su protección y ordenación, y por tanto su sostenibilidad se encuentra en riesgo (FAO, 2017).

La crisis económica mundial desencadenada en el 2008, revela que esta va más allá de una crisis exclusivamente financiera, pues alcanza dimensiones alimenticias, climáticas, energéticas y sociales (PNUMA, 2011). Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se espera que la población mundial alcance los 8.500 millones de personas en 2030, lo que a su vez representa un reto en cuanto a la cantidad de recursos necesarios para sustentar la vida en el planeta. Hoy, el mundo produce un 17% más de alimentos por persona que hace 30 años, lo cual sugiere que la tasa de producción ha aumentado más rápidamente que la población en las últimas décadas (FAO, 2012). Datos similares se obtienen al analizar el consumo de agua y materias primas para garantizar la sostenibilidad de la vida humana en el planeta, lo que supone a su vez la expansión de actividades económicas hacia ecosistemas no intervenidos (CONPES, 2017). En este sentido, la Economía Verde es la propuesta para afrontar los retos que plantea esta nueva situación; resultando, necesaria y oportuna a la vez, la transición hacia este nuevo modelo económico (Generalidad de Cataluña, 2015).

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), describe la Economía Verde como el modelo que tiene como resultado mejorar el bienestar humano y la equidad social, a la vez que se reducen los riesgos ambientales y la presión sobre los sistemas naturales y se armoniza el desarrollo económico y el consumo eficiente de los recursos. Bajo este concepto surgen distintas alternativas tendientes al cumplimiento del objetivo de la Economía Verde; entre ellos, los Mercados Ambientales Emergentes. Estos son un mecanismo para promover la gestión de bienes y servicios ambientales a partir de incentivos económicos, los cuales pueden ser provenientes de recursos públicos y/o privados, que buscan mantener y mejorar los recursos naturales y sus servicios ecosistémicos asociados (Fondo Acción, Fundepúblico y WCS, 2016).

En este sentido, los mercados ambientales pueden considerarse como instrumentos basados en el mercado (Market Based Instruments, MBI), puesto que son herramientas cuyo objetivo es resolver las ineficiencias de este que se manifiestan en externalidades (Huber et al., 1998). Estas se resuelven mediante la aplicación de iniciativas que comprenden, por ejemplo, la canalización de los recursos públicos o privados (económicos o técnicos), los cuales son destinados a la protección del medio ambiente y al desarrollo de comunidades; representando acciones importantes en pro de la conservación de la biodiversidad (Fondo Acción, Fundepúblico y WCS, 2016).

La biodiversidad comprende tanto la diversidad dentro de una especie o un ecosistema como la diversidad entre especies o ecosistemas; y por tanto, los cambios en la biodiversidad pueden influir en el suministro de servicios ecosistémicos (FAO, 2017). En consecuencia, ecosistemas estratégicos como las zonas de recarga en Colombia (Decreto 2372 de 2010), han de protegerse y gestionarse de forma sostenible, con el fin de que se pueda garantizar su continuidad en la prestación de los servicios ecosistémicos, asociados a la generación del agua subterránea.

El objetivo de este documento es realizar una revisión de la información disponible en relación al modelo de Economía Verde y Mercados Ambientales, con el fin de analizar en qué medida su aplicación en la cuenca del Valle de Aburrá podría beneficiar la situación que presentan las zonas de recarga y sus servicios ecosistémicos asociados, especialmente el que se encuentra ligado a la producción hídrica y cómo a partir de la implementación de una nueva estrategia normativa que promueve del Pago por Servicios Ambientales en Colombia, pueden generarse incentivos económicos que motiven a las comunidades a entablar acciones en pro de la conservación de los ecosistemas y el medio ambiente.

2. Generalidades

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio define los servicios ecosistémicos como el grupo de beneficios que la población obtiene de los ecosistemas, los cuales pueden ser de dos tipos: directos e indirectos. Los servicios ecosistémicos directos se refieren a la producción de bienes para el aprovisionamiento humano, tales como el agua y los alimentos o a la regulación de ciclos ambientales, como las inundaciones, la degradación, desecación y salinización de los suelos, las pestes y las enfermedades. Por su parte, los servicios ecosistémicos indirectos se refieren a los procesos del ecosistema que genera los servicios directos, propiciando su funcionamiento (servicios de apoyo) a través de procesos como la fotosíntesis y la formación y almacenamiento de materia orgánica, el ciclo de nutrientes, la creación y asimilación del suelo y la neutralización de desechos tóxicos (ONU, 2005).

En este sentido, los servicios ecosistémicos hacen posible la vida humana en el planeta, proporcionando no solo alimentos, agua y materias primas, sino también múltiples beneficios no materiales, como los valores estéticos y espirituales y culturales que aportan a la humanidad (FAO, 2017). Sin embargo, al ser la oferta de recursos naturales y sus servicios ecosistémicos, los cimientos de todos los sistemas agrícolas y alimentarios, la presión a la que se encuentran sometidos por el aumento de la demanda de bienes y servicios que genera el crecimiento poblacional, hace que estos se encuentren amenazados en su capacidad de seguir ofreciéndolos, ya sea porque se cambia la composición y estructura del sistema o su funcionamiento, o porque se extraen materiales de este a un ritmo superior a su capacidad de recuperación (ONU, 2005).

La agricultura, la ganadería, la actividad forestal y la pesca, se benefician de los servicios ecosistémicos y a su vez, los proporcionan (FAO, 2017). Los efectos que estos sectores producen en los servicios ecosistémicos pueden ser positivos o negativos, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 2. Normatividad Ambiental en Colombia, relacionada al tema de los mercados ambientales.

EFECTOS POSITIVOS	EFECTOS NEGATIVOS
• La agricultura proporciona hábitats a las especies silvestres y crea paisajes con valor estético. • Los bosques ayudan a mantener los ecosistemas acuáticos saludables y proporcionan fuentes fiables de agua limpia. • Los excrementos animales pueden ser una fuente importante de nutrientes y de dispersión de semillas y pueden mantener la fertilidad de los suelos en los pastizales. • La acuicultura sostenible e integrada puede mejorar la función de protección contra inundaciones que ejercen los manglares.	• Los plaguicidas, así como la homogenización del paisaje, pueden reducir la polinización natural. • La deforestación y la ordenación deficiente del territorio pueden generar un aumento en la escorrentía, las inundaciones y los movimientos de tierra. • El exceso de excrementos animales y su gestión deficiente pueden conllevar a la contaminación de las fuentes hídricas y poner en peligro la diversidad acuática. • La pesca excesiva tiene consecuencias devastadoras en las comunidades acuáticas, puesto que desestabiliza la cadena alimenticia y destruye los hábitats naturales de numerosas especies.

Como estrategia para manejar, mitigar o recuperar los ecosistemas, surge el modelo de los Mercados Ambientales, los cuales, pueden enfocarse en el análisis de diversos temas ambientales, tales como el carbono, la biodiversidad o el recurso hídrico, ante los cuales se desarrollan distintas estrategias y actividades encaminadas a mitigar el efecto de la acción del hombre sobre el ecosistema (Fondo Acción, Fundepúblico y WCS, 2016). Algunos de estos temas han tenido mayor atención por parte de organismos y entidades, quizás debido a un mayor fomento de información relacionada.

Dentro de los Mercados Ambientales surge igualmente el concepto de Economía Verde modelo bajo el cual se busca continuar mejorando el bienestar del ser humano y el desarrollo social, a la vez que se reducen los impactos ambientales y la escasez ecológica que produce el modelo económico convencional (Burkhard and Maes, 2017). De esta manera, el objetivo de la Economía Verde es conseguir un alto desarrollo humano con un bajo impacto ambiental y ecológico (OCDE, 2009). En una Economía Verde deben destinarse recursos hacia iniciativas que busquen la reducción de emisiones, promuevan la eficiencia energética y del consumo de agua, eviten la perdida de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos y promuevan una producción y consumo sustentable (PNUMA, 2011). Estos recursos se constituyen como instrumentos económicos, a través de los cuales se busca incentivar a los usuarios de la tierra para que no degraden los ecosistemas y sus servicios, sino que los protejan (UNEP, 2008).

El instrumento económico que se ha buscado potenciar en los años recientes es el de Pagos por Servicios Ambientales -PSA, el cual está diseñado para dar incentivos a los usuarios del suelo, de manera que continúen ofreciendo un servicio ambiental (ecológico) que beneficia a la sociedad como un todo (CIFOR, 2006). En algunos casos, los pagos buscan que los usuarios del suelo adopten prácticas de uso que garanticen la provisión de un servicio en particular; como por ejemplo: plantar árboles con fines de secuestro de carbono, proteger las rondas hídricas y los nacimientos de agua o conservar las zonas no intervenidas para favorecer los procesos de infiltración y recarga del agua lluvia en el suelo.

Según la Organización CIFOR, los Pagos por Servicios Ambientales -PSA tienen cinco rasgos distintivos: 1) El PSA es un acuerdo voluntario y negociado, no una medida de mando y/o control. Los proveedores potenciales de servicios deben tener opciones reales de uso de la tierra, entre las cuales el servicio proveído no es el uso preferido. 2) Se debe definir claramente lo que se está comprando – ya sea un servicio mensurable (toneladas de carbono secuestrado), o un uso equiparable de la tierra, pero limitado a las prácticas susceptibles de ofrecer el servicio (conservación de los bosques para garantizar la provisión de agua). 3) Debe darse una transferencia de recursos de al menos un comprador del Servicio Ambiental. 4) A por lo menos un vendedor directamente o a través de un intermediario. 5) Los pagos que los compradores hacen deben ser realmente contingentes por un servicio ofrecido de manera ininterrumpida durante la duración del contrato. Este último prerrequisito es importante, ya que establece la condición entre la provisión del servicio y el pago: si no hay provisión, no hay pago. Idealmente, los pagos deben ser escalonados según la cantidad o calidad del servicio ambiental ofrecido, al menos hasta un máximo convenido. Los pagos pueden ser en efectivo o en especie (materiales y capacitación). Los compradores del Servicio Ambiental normalmente monitorean si se está cumpliendo con el trato; por ejemplo, si se ha reducido la caza o la deforestación de la forma en que se estipuló en el contrato. Si así no fuera, los pagos se suspenderían o se cancelarían definitivamente.

El manejo necesario para ofrecer estos servicios también variará según la clase servicio ofrecido. Por ello, los Servicios Ambientales se clasifican en cuatro categorías: servicios de las cuencas, principalmente la provisión de cantidades adecuadas de agua de buena calidad y, en segundo plano, el control hidrológico de fenómenos como inundaciones, erosión y salinización de los suelos; secuestro de carbono, el almacenamiento a largo plazo del carbono en la biomasa leñosa y materia orgánica del suelo; conservación de la biodiversidad, los procesos que determinan y mantienen la biodiversidad en todos los niveles (paisaje, especies, genes); valores estéticos o belleza del paisaje, el mantenimiento de lo que sirve como fuente de inspiración, cultura y espiritualidad, así como la comercialización en forma de ecoturismo.

Entendiendo lo conveniente que puede resultar esta estrategia para la protección del medio ambiente y los ecosistemas, en un país donde el 51,6% de su superficie son bosques (IDEAM, 2014), posee el 49% de los páramos del mundo (Greenpeace, 2013) y es catalogado como megadiverso; en Colombia se han realizado los primeros avances en términos de adoptar esta medida dentro de las políticas de manejo ambiental. Pese a que ya existía normatividad que establecía instrumentos económicos ambientales para promover acciones de recuperación, conservación, preservación y vigilancia de los recursos naturales, como se resume en la Tabla 2, el reciente Decreto 870 de 2017, emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece formalmente el Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación.

Tabla 2. Normatividad Ambiental en Colombia, relacionada al tema de los mercados ambientales

NORMATIVIDAD	OBJETO
Decretos 2811 de 1974 y 1608 de 1978 (Ministerio de Agricultura)	Conservación, protección, restauración y fomento de la fauna silvestre
Decreto 1791 de 1996 (Ministerio del medio ambiente)	Compensaciones por aprovechamiento forestal
Decreto 1900 de 2006 (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial)	Conservación de cuencas abastecedoras
Resolución 1517 de 2012 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)	Compensaciones por pérdida de biodiversidad
Resolución 1526 de 2012 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)	Compensaciones por sustracción de reservas forestales
Ley 1450 de 2011 (modifica la Ley 99 de 1993) Reglamentada en el Decreto 953 de 2013 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)	Adquisición y mantenimiento de áreas de importancia estratégica para la conservación de los recursos hídricos que surten acueductos.
Decreto 1076 de 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)	Compila la normatividad ambiental mencionada anteriormente, al ser el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Decreto 870 de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)	Pago por Servicios Ambientales

En el Decreto 870 de 2017 se da vía libre para que las autoridades ambientales desarrollen proyectos que involucren a las comunidades que habitan los territorios hasta ahora poco intervenidos, para que en ellos se realicen actividades en pro del cuidado y conservación de los ecosistemas y los servicios que proveen al hombre; considerando que la diversidad ecosistémica nacional es la base de la economía del país y de lo cual depende el bienestar de las comunidades. De esta manera, se busca obtener un beneficio mutuo, en el que el campesino se compromete a velar por la protección de áreas y ecosistemas estratégicos y la autoridad ambiental otorga un reconocimiento económico que hace las veces de incentivo, como reconocimiento a su labor; con lo cual se espera mejorar la calidad de vida de la población, bajo el modelo de país que construye una paz estable y duradera, con el impulso de estrategias innovadoras, incluyentes y equitativas que conlleven a solucionar las problemáticas subyacentes del conflicto armado y que permitan el desarrollo sostenible del país (CONPES, 2017).

Al respecto, el Decreto 870 de 2017 propone lo siguiente: *"La implementación del Pago por Servicios Ambientales constituye un reconocimiento económico inmediato de carácter voluntario, por las acciones que permitan el mantenimiento y generación de servicios ambientales, realizadas en áreas y ecosistemas ambientalmente estratégicos…". "A partir de la implementación de proyectos de Pago por Servicios Ambientales, se busca fortalecer… la conservación de áreas y ecosistemas estratégicos para el desarrollo sostenible, así como complementar a los instrumentos*

de gestión ambiental del Estado (...) El presente decreto aplica a personas públicas o privadas que promuevan, diseñen o implementen proyectos de Pago por Servicios Ambientales, financiados o cofinanciados con recursos públicos y privados (...)El Pago por Servicios Ambientales, se refiera al incentivo económico, que reconocen los interesados de los servicios ambientales a los propietarios, poseedores u ocupantes, por las acciones de preservación y restauración en áreas y ecosistemas estratégicos, mediante la celebración de acuerdos voluntarios entre los interesados y beneficiarios de los servicios ambientales (...)Para efectos de la estimación del valor del incentivo a reconocer, en dinero o especie, se tendrá como referente el costo de oportunidad de las actividades productivas representativas que se adelantan en las áreas y ecosistemas estratégicos. Se aplicará este incentivo priorizando a quienes sean propietarios, poseedores y ocupantes de la pequeña y mediana propiedad, basada en el nivel de vulnerabilidad establecido por los indicadores de nivel socioeconómico y cultura de carácter oficial".

Esta iniciativa ha migrado igualmente hacia espacios locales, como el municipio de Medellín, en el que igualmente se busca adoptar esta medida dentro de la Política Pública para la preservación y restauración de los ecosistemas estratégicos del agua de Medellín por medio del Proyecto de Acuerdo 069 de 2017. En este se busca establecer e institucionalizar en el territorio lo dispuesto en la Ley 99 de 1993 y en el Decreto Reglamentario Nacional 953 de 2013; en relación a la adquisición, mantenimiento, conservación, preservación, restauración y pago por servicios ambientales de los ecosistemas estratégicos que garanticen la oferta y calidad de agua y la integralidad de la gestión del recurso hídrico en el municipio, con el propósito de promover la recuperación y mantenimiento de las áreas de importancia estratégica para la preservación del agua, mediante la adquisición y mantenimiento de dichas áreas y la financiación de los esquemas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA).

3. Relación con las Zonas de Recarga de Acuíferos

Como se mencionó anteriormente, las zonas de recarga de acuífero son consideradas como ecosistemas estratégicos dentro de la normativa nacional y local (Decreto 3600 de 2007, Decreto 2372 de 2010 y Proyecto de Acuerdo 069 de 2017), entendiendo que en estas zonas el agua lluvia se infiltra y se propician las condiciones necesarias para el sostenimiento del recurso hídrico subterráneo; el cual a su vez permite la generación de las fuentes hídricas superficiales a través de las dinámicas de transporte y aportes al flujo base (AMVA-U. de A., 2015). Sin embargo, al tratarse de un recurso específicamente ligado al territorio, estas se encuentran potencialmente amenazadas por las dinámicas de expansión poblacional y de desarrollo socioeconómico en las cuencas (AMVA-U. de A., 2013).

En la Figura 1 se pueden observar las zonas de recarga directa e indirecta del Valle de Aburrá, su estado de ocupación urbanística actual, los suelos de expansión urbana y rural proyectados y el área remanente de estas que se encontraría sin intervenir; de acuerdo a la información cartográfica disponible en los estudios de detalle elaborados entre la Universidad de Antioquia y el Área Metropolitana e información de la zonificación de suelos de los POT, a 2014. Según estos resultados, se estima que el porcentaje de área que ocuparían las zonas de recarga directa, luego de sustraer los suelos urbanizados y de expansión planteados en el ordenamiento territorial de la cuenca sería cercano al 20%.

En las cuencas esencialmente rurales, la amenaza se encuentra ligada a los procesos de expansión de la frontera agropecuaria y los sistemas productivos asociados que implican la remoción de la cobertura vegetal (tala y quema de bosques) y un manejo del suelo poco tecnificado, alterando las tasas de transferencia del agua superficial al suelo (García-Leoz et al., 2015; Porporato et al., 2002 y Rodríguez-Iturbe, 2000) y generando un aporte de sustancias contaminantes al agua subterránea. Por su parte, en las cuencas urbanas esta situación es desafiante, puesto que los esquemas de ordenamiento territorial deben apuntar hacia el concepto de equidad territorial al que tienen derecho las comunidades y municipios que las conforman; algunas veces desconociendo las implicaciones que tiene la expansión del suelo urbano sobre la dinámica natural del ciclo hidrológico. En estos casos, las áreas que presentan algún valor ecosistémico son cada vez más escasas y la conectividad entre ellas se pierde entre los bloques de concreto que distinguen a las urbes diseñadas bajo el modelo de ocupación convencional. Este aspecto repercute especialmente sobre las zonas de recarga, pues limita la dinámica natural de los flujos que hacen parte del balance hídrico, alterando las tasas y la frecuencia de las variables que tienen lugar en la superficie y afectando la transferencia de agua al suelo (Hutjes et al., 1998; Brown et al., 2005; Rudel et al., 2005; Foley et al., 2005).

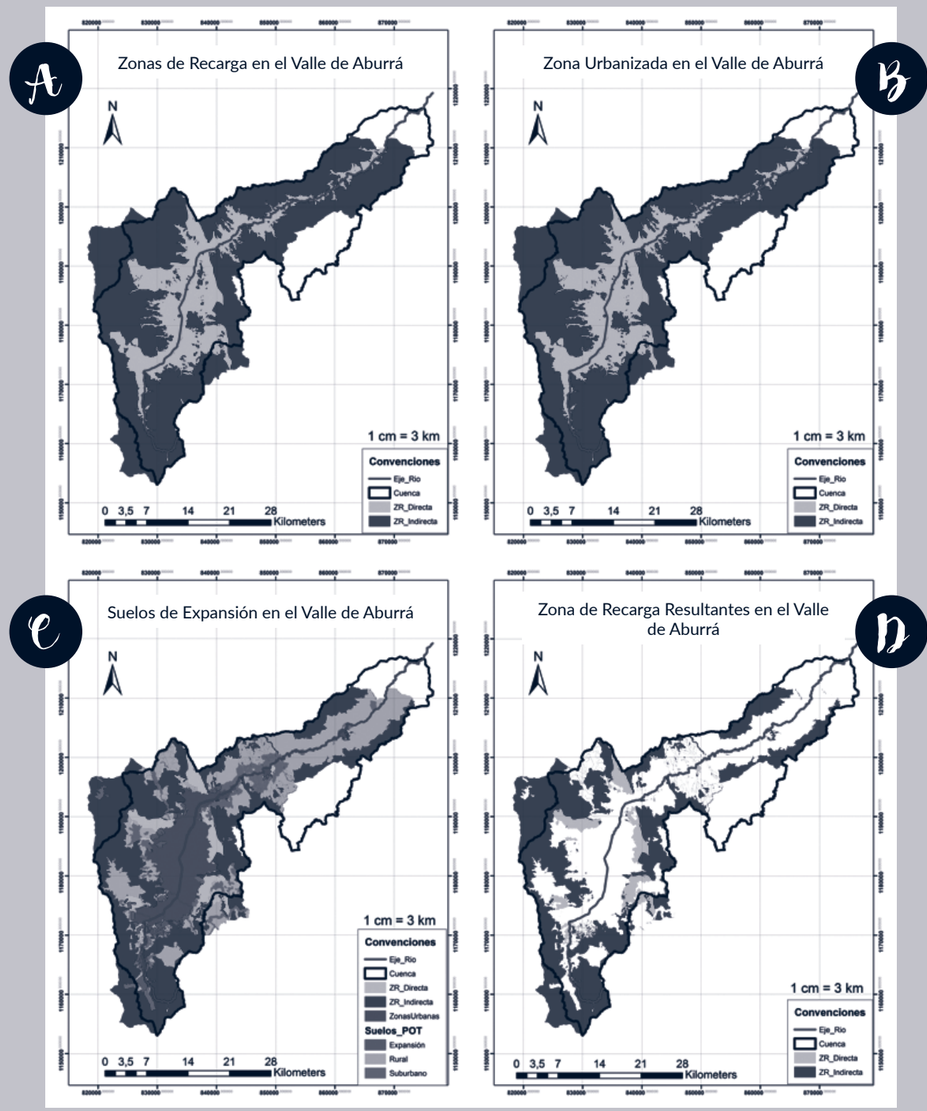


Figura 1. Zonas de recarga del Valle de Aburrá (A). Estado de intervención actual de las zonas de recarga del Valle de Aburrá (B). Suelos de expansión proyectados para el Valle de Aburrá (C). Zonas de recarga remanentes luego de la intervención de los suelos de expansión en el Valle de Aburrá (D).

Los efectos y consecuencias de estas alteraciones en la superficie tienden a acumularse en el tiempo, manifestándose sobre todo en cambios del microclima, con un consecuente aumento de temperatura ambiente y la ocurrencia de lluvias por fuera del régimen hidrológico característico de la cuenca (Wohl et al, 2012); descenso del nivel freático, con la desaparición de nacimientos de agua; y el aumento de las tasas de escorrentía superficial, que genera el desbordamiento de los cauces entre otros (Breña, 2010; Gómez, 2007). Es en este sentido que las zonas de recarga, a pesar de ser ecosistemas estratégicos reconocidos por la normatividad, se encuentran bajo presión, amenazadas y vulnerables.

Buscando hacer frente a esta situación, incluso el POT de la ciudad de Medellín (Acuerdo 48 de 2014), como el municipio central de la cuenca y donde se concentra la mayor parte de la problemática asociada a la impermeabilización del suelo y ocupación de zonas de recarga directa, propone una serie de medidas de manejo que deberán ser consideradas en las actuaciones urbanísticas, con el fin de que dichas intervenciones propendan por que los suelos mantengan sus características, las cuales permiten la infiltración y retención de agua lluvia y propician la continuidad de los flujos de agua hacia los reservorios subterráneos. Esto es igualmente recogido y propuesto en la Política Nacional de Construcción Sostenible (CCCS, 2016) y en las Guías de Construcción Sostenible realizadas por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad Pontificia Bolivariana, en el año 2015.

Todo lo anterior, estaría enmarcado dentro de la propuesta del PSA que propone el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el Decreto 870 de 2017, puesto que este considera que *"Las acciones sujetas de reconocimiento al incentivo económico de PSA, corresponden a la preservación y la restauración parcial o total en las áreas y ecosistemas de interés estratégico. Dentro de las acciones de restauración se incluyen las actividades productivas que permitan la generación de servicios ambientales a partir del uso sostenible del suelo, respetando el régimen de uso y manejo del área o ecosistema estratégico del cual se trate o de los territorios indígenas". Además, aclara que "Las modalidades de PSA se refieren a los servicios ambientales que se buscan generar o mantener… la calidad y regulación hídrica, el valor cultural y espiritual, la reducción y captura de gases de efecto invernadero y la conservación de la biodiversidad". Para esto, "Los elementos básicos para la formulación, diseño, implementación y seguimiento a proyectos de PSA, corresponden a… la Identificación, delimitación y priorización de las áreas y ecosistemas estratégicos, de conformidad con la normatividad que aplique en la materia; Identificación de los servicios ambientales; selección de predios; estimación del valor del incentivo; identificación de fuentes financieras y mecanismos para el manejo de recursos; formalización de los acuerdos; registro de proyectos; y monitoreo y seguimiento". Y por último, se debe considerar que "Los propietarios, poseedores u ocupantes, que reciben el incentivo de PSA, podrán adelantar de forma complementaria actividades relacionadas con el uso y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad".*

4. Discusión

Según el panorama descrito a lo largo de este documento, se tiene que los ecosistemas naturales se encuentran bajo presión debido a los procesos de desarrollo social y económico que discurren en las cuencas, lo cual se acrecienta en las cuencas de carácter urbano como la del Valle de Aburrá. Sin embargo, gracias al estudio de los impactos que esto representa para el hombre y la economía global, los cuales ya son evidentes, surgen propuestas y alternativas tendientes a la intervención sostenible y la protección de los ecosistemas estratégicos, que hacen frente a la propuesta económica de total aprovechamiento.

En este sentido, se estima que el aplicativo de los incentivos económicos que propone el Decreto 870 de 2017 sobre el Pago por Servicios Ambientales (PSA), así como lo dispuesto en el POT de la ciudad de Medellín (2014) y en el Acuerdo 069 de 2017, podría resultar como referente y ser útiles tanto para cuencas remotas, donde aún se conservan ecosistemas sin intervenir, como en cuencas intervenidas e intensamente intervenidas, como las cuencas de carácter urbano. En estas cuencas, se podría recurrir a proyectos de PSA diseñados especialmente para que representen una propuesta alternativa que compita con el modelo económico convencional al que son destinadas generalmente las áreas remanentes de la cuenca; es decir, para la construcción de proyectos habitacionales y/o comerciales o la industria; y cada vez menos para el aprovechamiento agropecuario. Por ejemplo, la Autoridad Ambiental competente y las municipalidades, podrían pensar en crear una agremiación de usuarios, propietarios de tierras con valor ecosistémicos y con poca o nula intervención, con los que se generen proyectos de aprovechamiento sostenible que garanticen las conservación de estas áreas, sin que necesariamente implique una pérdida de oportunidad económica, sino que por el contrario se busque una ganancia que beneficie tanto a los propietarios de las tierras, como a los beneficiarios de los servicios ambientales que estas proveen; a la Autoridad Ambiental encargada de velar por la sostenibilidad de los recursos naturales y a las entidades territoriales que buscan y se sustentan en el desarrollo socioeconómico de sus habitantes. Algunas propuestas adicionales a la de estrictamente conservación, con restauración y reforestación del área podrían apuntar a la adecuación de espacios para la recreación pública, en las que el usuario realice un aporte económico simbólico y el Estado aporte igualmente recursos para su mantenimiento; o sistemas de aprovechamiento agropecuario y/o forestal, con zonas estratégicas que sean restauradas y se conserven para destinar el flujo superficial al suelo; o proyectos de construcción habitacional sostenible, bajo modelos que garanticen el normal funcionamiento del balance hídrico en el predio y la permanencia de cobertura vegetal entre otras.

5. Conclusiones

- La situación económica mundial, desde la crisis desencadenada en el año 2008, revela la relación que existe entre los aspectos financieros y el grado de afectación de los ecosistemas; como encargados de proveer servicios al ambiente y al ser humano. En este sentido, los impactos y consecuencias de la implementación de modelos socioeconómicos poco eficientes, con procesos de intervención y aprovechamiento intensivo de los ecosistemas, ha generado la necesidad de explorar otras alternativas de mercado en las que el bienestar de las comunidades no implique la destrucción del medio ambiente, sino que se armonice el desarrollo económico mediante el consumo eficiente de los recursos.
- El sistema económico convencional presenta ineficiencias en el sentido en que el sistema productivo se basa en satisfacer las necesidades de consumo de una manera que no garantiza la sostenibilidad de los recursos naturales en el tiempo (suelo y agua); lo cual a su vez repercute en la economía y desarrollo socioeconómico de las poblaciones. El Pago por Servicios Ambientales es la herramienta económica por medio de la cual se busca incentivar los usos del suelo de manera sostenible, de forma que continúen ofreciendo un servicio ambiental (ecológico) que beneficie a la sociedad sin descuidar el ecosistema y su entorno.
- Colombia se encuentra ante un proceso de repoblación urbana y rural, como consecuencia del reciente tratado de paz, al que se asocia la restitución de tierras a las comunidades golpeadas por el conflicto armado. Esto supone una amenaza a los ecosistemas hasta ahora no intervenidos pero también una oportunidad para generar un cambio en el proceso de aprovechamiento económico de los recursos naturales, por lo cual se establece el Decreto 870 de 2017, que dictamina el Pago por Servicios Ambientales para el territorio nacional.
- Cuencas urbanas como la del Valle de Aburrá, que se encuentran ante procesos de apertura económica y desarrollo territorial, enfrentan un gran reto ante la necesidad de buscar la equidad territorial de las comunidades y salvaguardar los ecosistemas estratégicos que aún posee; de los que depende la sostenibilidad de sus recursos naturales y el bienestar de sus habitantes. En la actualidad, cerca del 70% de las áreas correspondientes a las zonas de recarga directa, delimitadas para el Valle de Aburrá (AMVA-UdeA, 2013), se encuentran impermeabilizadas por obras civiles y de infraestructura vial, que impiden y obstaculizan la infiltración del agua lluvia en el suelo y modifican el flujo normal del ciclo hidrológico. Esta situación expresa la necesidad de entablar medidas de manejo efectivas para estos ecosistemas estratégicos, de los cuales depende la sostenibilidad del recurso hídrico en la cuenca. La opción que brinda el modelo del Pago Por Servicios Ambientales, propuesto en el Decreto 870 de 2017, constituye un elemento útil para el desarrollo de proyectos enfocados a la protección de estos ecosistemas. Igualmente, a nivel local se han establecido algunas herramientas normativas que propenden por la protección de los recursos naturales, tales como las medidas de manejo que propone el POT de Medellín (2014) para las zonas de recarga y el Proyecto de Acuerdo 069 de 2017, los cuales podrían servir como referente para el resto de los territorios integrados.

6. Referencias

Alcaldía de Medellín. Acuerdo 48 de 2014. Por medio del cual se adopta la revisión y ajuste de largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín y se dictan otras disposiciones. 2014. Gaceta Oficial No. 4267 de 2014.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá -AMVA y Universidad de Antioquia –UdeA. 2013. Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el centro y sur del Valle de Aburrá. Medellín, Colombia.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá -AMVA y Universidad de Antioquia –UdeA. 2015. Memorias de la fase diagnóstico para la formulación del Plan de Manejo Ambiental de Acuífero del Valle de Aburrá. Medellín, Colombia.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá – AMVA y Universidad Pontificia Bolivariana –UPB. 2015. Guías Construcción Sostenible. Medellín, Colombia.

Breña AF. 2010. Hidrología Urbana. Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Brown A, Zhang L, McMahon T, Weston A, Vertessy R. 2005. A review of pared catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. Journal of Hydrology 310: 28-61. DOI:10.1016/j.jhydrol.2004.12.010

Burkhard B., Maes J (Eds.) 2017. Mapping Ecosystem Services. Pensoft Publishers, Sofia, 374 pp.

Center for International Forestry Research –CIFOR. 2006. Pagos por Servicios Ambientales: Principios Básicos esenciales. Ocassional Paper No. 42. ISSN 0854-9818.

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible –CCCS. 2016. Política Nacional de Construcción Sostenible. República de Colombia.

Consejo Nacional de Política Económica y Social –CONPES. 2017. Lineamiento de Política y Programa Nacional de Pago por Servicios Ambientales para la Construcción de Paz. Documento 3886. Departamento Nacional de Planeación de la Presidencia de la Republica de Colombia.

Decreto 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Ministerio de Agricultura. Colombia, 1974.

Decreto 1608 de 1978. Por el cual se reglamenta el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y la Ley 23 de 1973 en materia de fauna silvestre. Ministerio de Agricultura. Colombia, 1978.

Decreto 1791 de 1996. por medio del cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal. Ministerio del medio ambiente. Colombia, 1996.

Decreto 1900 de 2006. Por el cual se reglamenta el parágrafo del artículo 43 de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Colombia, 2006.

Decreto 2372 de 2010. Por el cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia, 01 de julio de 2010.

Ley 1450 de 2011. Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014. Congreso de la República. Colombia, 2011.

Decreto 953 de 2013. Por el cual se reglamenta el artículo 111 de la Ley 99 de 1993 modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia, 2013.

Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia, 2015.

Decreto 870 de 2017. Por el cual se establece el Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia, 2017.

Foley JA, De Fries R. 2005. Global Consequences of Land Use. Science 309(5734): 570-574. DOI:10.1126/science.1111772.

Fondo Acción, Fundepúblico y WCS. 2016. Mercados ambientales emergentes en Colombia. Bogotá D.C. ISBN: 978-958-57636-5-4.

García-Leoz V, Villegas JC, Betancur T y León JD. 2015. Efecto del cambio de la cobertura vegetal sobre la función de regulación hídrica: análisis multitemporal para un gradiente de intervención antrópica. Tesis de Maestría. Universidad de Antioquia.

Generalitat de Catalunya, 2015. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya. CVE-DOGC-A-15146102-2015. Núm. 6881 - 28.5.2015.

Gómez MV. 2007. Hidrología Urbana. Flumen. Dinámica fluvial i enginyeria hidrológica. Barcelona, España.

Huber RM, Ruitenbeck J, Seroa da Motta R. 1998. Instrumentos de Mercado para la Política Ambiental en América Latina y el Caribe. Lecciones de Once Países. Documento para discusión del Banco Mundial 381S. Publicado en 2006.

Hutjes RWA, Kabat P, Running SW, Shuttleworth WJ, Field C, Bass B, da Silva Dias MAF y otros. 1998. Biospheric aspects of the hydrological cycle. Journal of Hydrology. 212-213: 1-21. PII: S0022-1694(98)00255-8.

Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Congreso de la República. Colombia, 1993.

Monitoreo y seguimiento al fenómeno de la deforestación en Colombia. IDEAM, 2014. Recuperado de: www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/deforestacion-colombia

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OCDE, 2009. Declaración sobre Crecimiento Verde, adoptada en la Reunión del Consejo en Nivel Ministerial de la OCDE.

Organización de las Naciones Unidas – ONU. 2005. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura –FAO. 2017. Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Recuperado de: http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura –FAO. Nuevo informe sobre el hambre: casi 870 millones de personas sufren subnutrición crónica en el mundo. Roma 2012.

Paramos en peligro. El caso de la minería de carbón en Pisba. Greenpeace. 2013. Campaña Paramos.

Política Nacional para la Biodiversidad, 1996. Ministerio del Medio Ambiente y Departamento Nacional de Planeación. Colombia.

Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos –PNGIBSE, 2012. Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia.

Porporato A, D'Odorico P, Laio F, Ridolfi L, Rodriguez-Iturbe I. 2002. Ecohydrology of water-controlled ecosystems. Advances in Water Resources 25: 1335–1348. DOI: 10.1016/S0309-1708(02)00058-1.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente –PNUMA. 2011. Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza - Síntesis para los encargados de la formulación de políticas. Recuperado de: www.unep.org/greeneconomy

Proyecto de Acuerdo No. 069 de 2017. Por medio del cual se crea la Política Pública para la preservación y restauración de los ecosistemas estratégicos del agua de Medellín. Concejo de Medellín. Colombia, 2017.

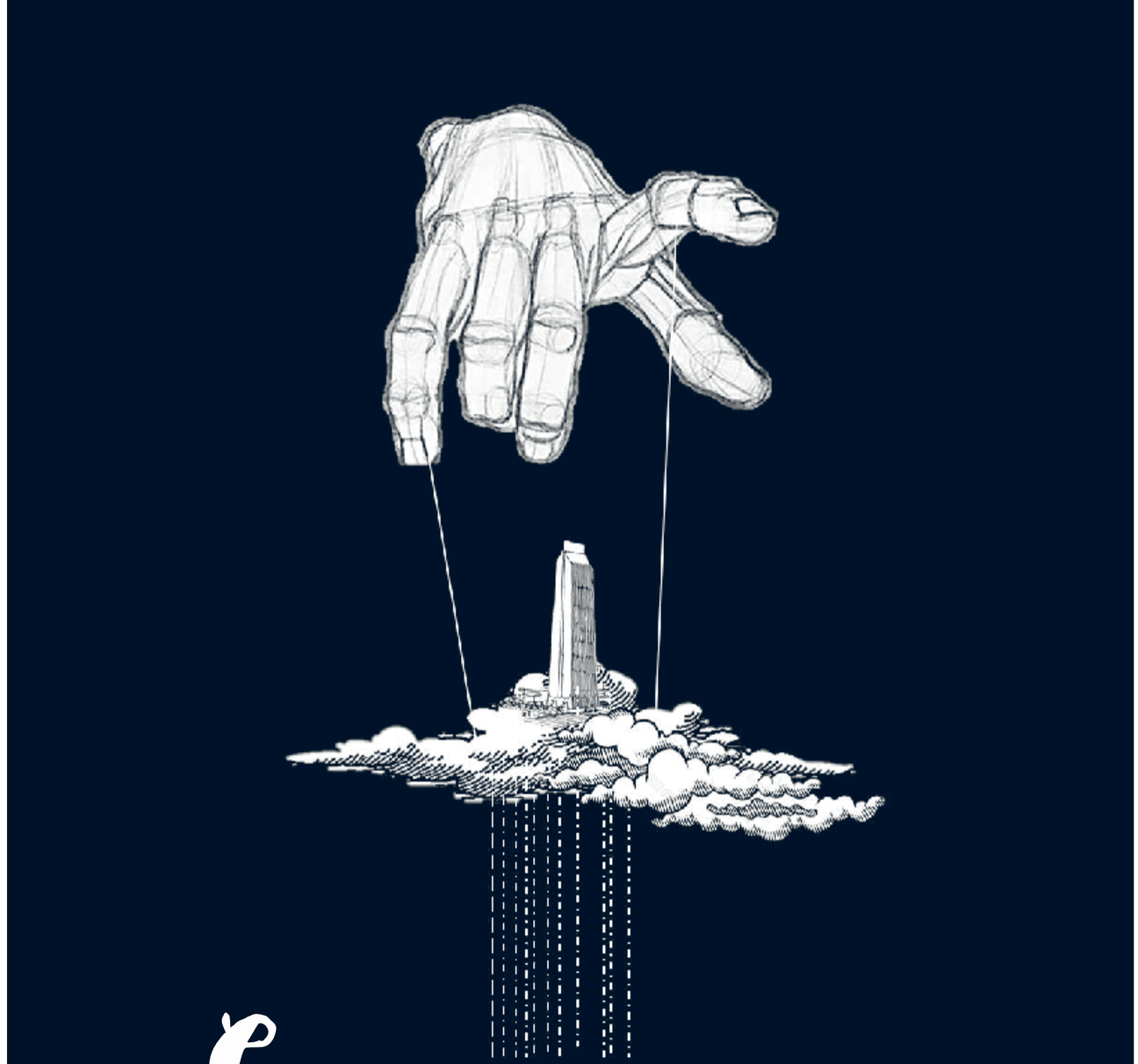
Resolución 1517 de 2012. Por la cual se adopta el Manual para la Asignación de Compensaciones por Pérdida de Biodiversidad. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia, 2012.

Resolución 1526 de 2012. Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para la sustracción de áreas en las reservas forestales nacionales y regionales, para el desarrollo de actividades consideradas de utilidad pública o interés social, se establecen las actividades sometidas a sustracción temporal y se adoptan otras determinaciones. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia, 2012.

Rodriguez-Iturbe I. 2000. Ecohydrology: A hydrologic perspective of climate-soil-vegetations dynamics. Water Resources Research, vol 36 No. 1, 3-9. Paper number: 1999WR900210. 0043-1397/00/1999WR900210.

Rudel TK, Coomes OT, Moran E, Achard F, Angelsen A, Xu A, Lambin E. 2005. Forest transitions: Towards a global understanding of land use change. Global Environmental Change 15: 23-31. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2004.11.001.

Wohl E, Barros A, Brusnell N, Chapell NA, Coe M. 2012. The hydrology of the humid tropics. Nature Climate Change 2: 655–662 (2012) DOI: 10.1038/nclimate1556.



El Valle de Aburrá como un ecosistema urbano y su relación con el agua subterránea

Andrea Velásquez U.
Byron Alberto Castañeda A.
Estudiantes del Diplomado en Hidrogeología y Gestión de Acuíferos
andrea.velasquezu@udea.edu.co
byron9008@hotmail.com

El Valle de Aburrá es un espacio urbanizado en donde ocurre la simbiosis entre lo natural (seres vivos) y lo artificial. Por esta razón cobra interés el estudio del entorno de la ciudad la cual vamos a interpretar como sinónimo de ecosistema urbano, esto radica en que ambos espacios, el parcialmente natural y el parcialmente construido, hacen parte del mismo sistema (Mestre Martínez, 2015). Así mismo es importante resaltar la relación que este ecosistema urbano tiene con su entorno por ser este el espacio que suministra los elementos necesarios para el normal desarrollo de la vida urbana (Amaya, 2005). Una característica primordial del ecosistema urbano del Valle de Aburrá y de otros en general, es su constante proceso de transformación; a nivel territorial se destacan los procesos de cambio de uso del suelo que paso a paso van modificando el paisaje natural y el paisaje artificial existentes, en donde por ejemplo, se modifica el espacio rural para dar paso a residencias o a cualquier otra actividad que permita sentar los cimientos a la dinámica y espacio de lo urbanizado, en donde se dan procesos como la generación de residuos, contaminación atmosférica, expansión desacelerada en zonas vulnerables y de riesgo como lomas y quebradas, y quizás otros bastante delicados como la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas que abastecen el ecosistema urbano. Es por ello que la conservación, protección y gestión del agua subterránea y superficial debe ser una necesidad apremiante en cualquier centro urbanizado, en especial en este valle habitado por cientos de personas donde el proceso de urbanización afecta la disponibilidad del agua en cantidad y calidad lo que conlleva a profundas implicaciones ambientales, sociales, económicas y políticas (Dávila et al., 2011).

El término ecosistema urbano puede estudiarse como un caso particular de la ecología, sin embargo sus interpretaciones y su dinámica son diferentes. Es así como se hace necesario entender claramente los componentes que define este tipo de ecosistema y que lo diferencia de los demás, para posteriormente dar relevancia a lo que como ambiente tiene: recursos y dinámicas físicas, químicas y biológicas, haciendo especial énfasis en los flujos hídricos y aún más, en las relaciones con el agua subterránea. El presente texto hará un rápido paso definiendo desde la academia y la epistemología lo que significa: ecosistema, urbano y ecosistema urbano, para luego entenderlo dentro de un territorio de análisis que es el Valle de Aburrá, pasando a describir su importancia, para finalmente relacionarlo con el recurso hídrico, especialmente con el agua subterránea y los alcances que desde el conocimiento académico, de territorio y aún más del recurso, se pueden dar a nivel político, social, ambiental y cultural, cuando aumenta el nivel de entendimiento del sistema, permitiendo así la conservación, protección y gestión del agua subterránea.

La palabra ecosistema fue acuñada por primera vez en 1935 por el botanista inglés, Arthur Tansley para designar la unidad integral entre la comunidad biótica, la interacción química y el ambiente físico, es decir, es la fusión entre la ecología como el estudio de la "casa" de los organismos y el sistema donde se desarrollan intercambios de masa y energía. Un ecosistema cualquiera del planeta se puede describir por los flujos de materia y energía que discurren por él. La materia circula entre los seres vivos y el medio formando un círculo cerrado. En cambio, la energía, en aplicación del segundo principio de la termodinámica, lo hace en forma de un flujo que se degrada continuamente (Higueras, 2009). Los ecosistemas se caracterizan por: 1) Ser sistemas abiertos; 2) Estar formados por elementos tanto bióticos como abióticos; 3) Poseer componentes que interaccionan estableciendo mecanismos de retroalimentación; 4) Presentar interacciones que establecen redes tróficas e informacionales; 5) Estar estructurados jerárquicamente; 6) Cambiar en el tiempo y 7) Poseer propiedades emergentes, donde nuevas propiedades aparecen a través del tiempo (Maass & Martínez Yrízar, 1990).

Etimológicamente, el término urbanismo proviene de urbe (ciudad); urbano (lo que es de una ciudad (derivado del latín: urbanus). Por tanto, se refiere a todo lo relacionado con la ciudad (Ducci, 2014). Sin embargo, dar una definición precisa y global de lo que es urbano es una tarea casi imposible, ya que existen diferentes interpretaciones de este, pero, es de relevante importancia identificarlo claramente para poder diferenciarlo de un territorio rural, además para permitir la correcta planeación y estudio de los espacios donde se asienta. Este tema ha sido ampliamente debatido y es posible identificar dos corrientes diferentes. Por un lado, está la cuestión de la definición teórica del hecho urbano en contraposición a lo rural y la enumeración de los rasgos esenciales de la ciudad. Por otro, la definición concreta utilizada en cada país para determinar con fines estadísticos lo urbano y fijar el límite a partir del cual puede empezar a hablarse de ciudad como entidad distinta de los núcleos rurales o semirurales. Los rasgos que con más frecuencia se han considerado para caracterizar el hecho urbano han sido, fundamentalmente, el tamaño y la densidad, el aspecto del núcleo, la actividad no agrícola y el modo de vida, así como ciertas características sociales, tales como la heterogeneidad, la "cultura urbana" y el grado de interacción social (Cepel, 1975). Dentro de las definiciones más famosas y ampliamente aceptadas son aquellas en donde dentro de la definición está el hecho que la mayoría de los pobladores de una zona urbana no realizan actividad agrícola y además tienen en cuenta características de tamaño, densidad y otros criterios como cultura urbana, criterios cuantitativos como estatuto jurídico, la función administrativa, el aspecto del núcleo o la existencia de determinados servicios y criterios cualitativos como son: el número de habitantes, la densidad o la existencia de una determinada cifra de trabajadores no agrícola. Así pues se tienen diferentes maneras para definir un territorio como urbano, para el caso colombiano se define urbano como territorio que "se caracteriza por estar conformado por conjuntos de edificaciones y estructuras contiguas agrupadas en manzanas, las cuales están delimitadas por calles, carreras o avenidas, principalmente. Cuenta por lo general, con una dotación de servicios esenciales tales como acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, hospitales y colegios, entre otros. En esta categoría están incluidas las ciudades capitales y las cabeceras municipales restantes." (DANE, 2010). Por otro lado, área metropolitana: entidad administrativa, formada por un conjunto de dos o más municipios integrados alrededor de un municipio núcleo o metrópoli, vinculados entre sí por estrechas relaciones de orden físico, económico y social, que para la programación y coordinación de su desarrollo y para la racional prestación de sus servicios públicos requiere una administración coordinada (DANE, 2010), donde es importante tener en cuenta que el área metropolitana cuenta con una parte rural y otra urbana.

> "...LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HACEN POSIBLE LA VIDA HUMANA EN EL PLANETA..."

Para entender la ciudad como un ecosistema urbano, es necesario hacer una fusión en la definiciones ecosistema y urbano ya planteadas anteriormente, además, hacerle un análisis de interpretación. La ciudad aparece como un medio urbanizado, habitado por un grupo de seres vivos, con sus interacciones y relaciones, donde el ser humano se convierte en parte esencial del mismo, emerge entonces una dinámica urbana interna, y un funcionamiento a base de intercambios de

materia, energía e información. En este sentido estas características son asimilables a las de un ecosistema natural siendo el hombre y sus sociedades subsistemas del mismo. Por otro lado, las ciudades constituyen organizaciones muy complejas, sin equiparación con ninguna otra estructura existente y sus conexiones se extienden sobre todo el planeta influyendo en espacios lejanos gracias a la tecnología y a las nuevas redes de transporte. La principal particularidad del ecosistema urbano, por tanto, reside en los grandes recorridos horizontales de los recursos de agua, alimentos, electricidad y combustibles que genera, capaces de explotar otros ecosistemas lejanos, provocando importantes desequilibrios territoriales como el agotamiento de recursos no renovables en otros territorios fuera de su bioregión, lo cual no se daría si los habitantes de la ciudad consumieran exclusivamente los productos y servicios del capital natural de la bioregión en dónde viven, como se ha visto en la huella ecológica (Higueras, 2009).

Los cambios demográficos, económicos y sociales que ha experimentado el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en Colombia dan constancia de una de las dinámicas territoriales más importantes del país. Esta entidad político administrativa posee más de 3,5 millones de habitantes distribuidos en los 10 municipios que la conforman, según el último censo nacional realizado por el DANE (DANE, 2005). Esta región geográfica se ubica en medio de la cordillera Central con alturas entre los 1.300 y los 2.800 ms.n.m y se localiza en el centro-sur del departamento de Antioquia. De acuerdo a proyecciones de la CEPAL (CEPAL, 2016) hay estimaciones que registran una población de 4.389.585 personas en el área metropolitana en el periodo 2010-2030 lo cual se traduce en un incremento de casi 889.585 habitantes a un ritmo de crecimiento del 1% anual y con mayor dinámica en la zona urbana de los municipios extremos de la región central (Medellín), como Bello, Envigado e Itagüí. Este factor de crecimiento demográfico en donde el área urbanizada del valle se expande más hacia los lados y hacia al occidente, sumado a una dinámica industrial creciente concentrando cerca del 70% de la actividad, industrial y de servicios en un valle estrecho, aumentan la presión sobre este ecosistema urbano que es el Valle de Aburrá y por lo tanto, la cantidad de problemas ambientales serios, como la afectación del ciclo hidrológico natural por la impermeabilización de la superficie.

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá es entonces una gran ciudad que intenta ser compacta y poli céntrica, pero que se ha hecho dispersa, difusa y con dinámicas aceleradas de crecimiento intermitente y centrífugo (AMVA, 2007). A pesar que el Valle de Aburrá incluye dentro de sus municipios zonas rurales, debe de entenderse que los límites de los ecosistemas urbanos se extienden más allá de los núcleos habitados, ya que no se pueden dejar fuera las áreas industriales y comerciales, que se ubican fuera del núcleo urbano o las infraestructuras para el transporte, que exceden los límites de los términos municipales. Por ello, en la cartografía de los ecosistemas urbanos se incluyen todas aquellas superficies artificiales que de una u otra forma se relacionan con el funcionamiento de los ecosistemas urbanos (Barrios, 2012)

La importancia de identificar el Valle de Aburrá como un ecosistema urbano está en la connotación de los lineamientos para poderlo entender y estudiar como un sistema que interactúa constantemente con otros sistemas aledaños y generalmente son altamente dependientes de los recursos que estos le proveen, como agua, energía y alimento. Además, su metabolismo es rápido, con cambios constantes y crecimiento acelerado. Por otro lado, son focos de contaminación y de transporte de sustancias que no tienen la capacidad de eliminar, como aguas residuales y residuos sólidos. Esto se convierte, por lo tanto, en el desafío al que se enfrentan hoy los ecosistemas urbanos como el Valle de Aburrá que pueden ir perdiendo su capacidad de asimilar las alteraciones a las que el planeta se está enfrentando provocadas por el cambio climático. Los periodos y severidad de sequías, inundaciones, olas de calor, las subidas del nivel del mar y las alteraciones que se pueden provocar en los sistemas de recogida de aguas, son algunos de los impactos que las ciudades van a tener dificultad para superar como consecuencia de un proceso de crecimiento, que no ha tenido en cuenta la conservación de la funcionalidad de los servicios de regulación del propio ecosistema urbano y que es necesario volver a recuperar (EEA, 2010). Con los incipientes procesos de urbanización se ha producido el sellado y degradación de las funciones del suelo, alterando su capacidad de infiltración y su fertilidad. Igualmente, en muchas ocasiones la planificación no ha tenido en cuenta la capacidad de regulación del ciclo hidrológico, provocando una alteración de los sistemas hídricos y de drenaje, disminuyendo la capacidad de asimilar los cambios en los flujos de agua e incrementando el riesgo de inundaciones en zonas urbanizadas (EEA, 2010), lo cual es necesario pensarlo para el Valle de Aburrá.

Entendiendo el Valle de Aburrá como un ecosistema urbano, con todo lo que esto implica, es necesario pensar la forma de gestionarlo para protegerlo. Se hace necesario identificar los recursos que en el territorio se encuentran y determinar los servicios ecosistémicos asociados a él. Algunos de estos servicios se relacionan con el recurso hídrico. Aguas superficiales y aguas subterráneas abastecen las necesidades de consumo humano para población, sin embargo, para el Valle de Aburrá las primeras son extraídas de otros sistemas aledaños, mientras que las segundas hacen parte del territorio.

En el entorno geográfico del Valle de Aburrá el agua hace parte de este gran ecosistema urbano. En este territorio el agua subterránea ya se empieza a ver como una fuente de abastecimiento para contribuir a la demanda del recurso en sectores del área urbana y rural. El aprovechamiento de las aguas subterráneas permite la expansión de la actividad industrial que soporta el crecimiento urbano, pero al mismo tiempo, se incrementa el vertimiento de sustancias producto de las actividades industriales y domésticas, que al infiltrarse en el terreno pueden deteriorar la calidad del agua subterránea disponible. El Valle de Aburrá, al igual que otros ecosistemas urbanos, es un sistema abierto con un flujo constante de materia y energía que entran como recurso y se transforman en forma de calor, donde los materiales se dispersan y descargan en forma de contaminantes gaseosos, sólidos y líquidos que pueden ir a parar a cuerpos de agua superficiales o subterráneos. En este orden de ideas, el Valle de Aburrá se consolida como una región urbana que ejerce fuertes presiones sobre el ambiente natural y sobre sus habitantes, provocando impactos indeseados.

En el Valle de Aburrá existen 3 acuíferos: un acuífero libre, un acuífero semiconfinado y el acuífero de la Dunita de Medellín, cada uno de estos con sus particularidades y donde se almacena una importante cantidad de agua para uso doméstico, industrial y de lavado de vehículos, representando un factor clave para el desarrollo. En este orden de ideas, en un entorno urbano como el Valle de Aburrá, el agua subterránea ya se empieza a configurar como una fuente de aprovechamiento de gran disponibilidad, sin embargo, el incremento poblacional y el desarrollo industrial se configura como una problemática para la calidad y cantidad de las aguas subterráneas permitiendo su contaminación, por ejemplo, debido a filtraciones de las fugas provenientes de drenajes municipales (Al–Sefry y Sen, 2006). La contaminación del agua subterránea en un ecosistema urbano como el valle plantea varios retos, todo debido a que dicha contaminación proveniente de fuentes puntuales puede ser muy notoria y el tipo de contaminante puede ser inorgánico, orgánico o microbiológico. Fugas en el sistema de alcantarillado, la escorrentía urbana, residuos sólidos, fugas de depósitos de almacenamiento, derrames de gasolina directamente sobre el suelo, el uso de fertilizantes y pesticidas, hasta pozos o aljibes inadecuadamente abandonados sin ningún tipo de protección constituyen las principales amenazas para la calidad de este recurso.

Se tiene entonces que el suministro de agua, saneamiento y drenaje son servicios clave en el proceso de urbanización, en el desarrollo económico y en la salud pública de los habitantes del área urbana. Es por ello que una gestión integral del AS en un ecosistema urbano como el Valle de Aburrá debe reconocerla como un recurso limitado, razón por la cual debe examinarse su aprovechamiento sostenible. El objetivo, aparte del aprovisionamiento de este preciado líquido, debe de ser el de proteger, utilizar, reciclar y verter el agua en condiciones ambientales adecuadas, facilitando su disponibilidad a las futuras generaciones; esto se hace por medio de estrategias que permitan evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos y políticas públicas para hacerle frente a problemáticas como la impermeabilización de los suelos, el descenso y ascenso del nivel freático (NF) a lo largo del tiempo o la subsidencia del terreno; esto sumado a la utilización de nuevas tecnologías y a procesos que comprometan no solo a los tomadores de decisiones sino también a actores estratégicos de la sociedad en general. Un modelo de gestión integral en el ecosistema urbano del Valle de Aburrá deberá ser impulsado e implementado en cada uno de los diez municipios de esta unidad político - administrativa, con el propósito de gestionar ambientalmente un recurso como el agua subterránea dentro del ciclo hidrológico urbano

Referencias

Agencia Europea de Medio Ambiente, 2010. The European environment — state and outlook 2010 (SOER 2010). Urban Environment. Copenhagen, 40 pp.

Agencia Europea de Medio Ambiente, 2010. The European environment — state and outlook 2010 (SOER 2010). Adapting to climate change. Copenhagen, 52 pp.

Al–Sefry, S.A., Sen, Z., 2006, Groundwater rise problem and risk evaluation in major cities of arid lands – Jedddah Case in Kingdom of Saudi Arabia: Water Resources Management, 20, 91–108.

Amaya, C. (2005). El Ecosistema Urbano: Simbiosis Espacial entre lo Natural y lo Artificial. Revista Forestal Latinoamericana, 37, 1 - 16.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). Plan integral de desarrollo metropolitano. Hacia la integración sostenible. Metrópoli 2008-2020. Medellín

BARRIOS, J.C., 2012. Ecosistemas urbanos. Revista Ambienta: (98) 144-153.

Cepel , H. (Febrero - Mayo de 1975). Scripta Vetera EDICIÓN ELECTRÓNICA DE TRABAJOS PUBLICADOS. Recuperado el 2017 de 08 de 14, de Scripta Vetera EDICIÓN ELECTRÓNICA DE TRABAJOS PUBLICADOS: http://www.ub.edu/geocrit/sv-33.htm

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Notas de Población, N° 102, (LC/G.2673-P), Santiago, 2016

Dane. (10 de 08 de 2010). Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Recuperado el 15 de 08 de 2017, de Departamento Administrativo Nacional de Estadística: https://www.dane.gov.co/files/inf_geo/4Ge_ConceptosBasicos.pdf

Dávila Pórcel, René Alberto, & Gómez, Héctor de León. (2011). Importancia de la hidrogeología urbana; ciencia clave para el desarrollo urbano sostenible. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 63(3), 463-477. Recuperado en 17 de agosto de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222011000300008&lng=es&tlng=es.

Departamento Nacional de Estadística (DANE). (2005). Dane.gov.co. Recuperado 21 septiembre 2017, a partir de http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1

Ducci, M. E. (2014). EL URBANISMO Y LA PLANIFICACIÓN. En M. E. Ducci, CONCEPTOS BÁSICOS DE URBANISMO (págs. 1-9). México: Trillas.

Higueras, E. (2009). LA CIUDAD COMO ECOSISTEMA URBANO. Recuperado el 06/07/2017, de http://oa.upm.es/16625/1/Ecosistema.pdf

Maass, J. M., & Martínez Yrízar, A. (1990). Ejourna. Recuperado el 14 de 08 de 2017, de ejourna: www.ejournal.unam.mx/cns/espno04/CNSE0403.pdf

Mestre Martínez, N. (2015). Ciudad intrusa y ciudad simbionte: Desde la autosuficiencia a la ecología urbana. Ángulo Recto. Revista De Estudios Sobre La Ciudad Como Espacio Plural, 6(2), 3-6. doi:10.5209/rev_anre.2014.v6.n2.47581

Monografía geológica

Álvaro Zapata Z.
Aguas Ltda
aguasltda@gmail.com

Prólogo

El filósofo inglés Locke afirmaba contra Descartes y Leibniz, que el hombre no tiene ideas o principios innatos, todas sus ideas y conceptos los adquiere de la vida y de la experiencia; a cuya aserción, deseo compartirles algunas experiencias, unas adquiridas de cuna y subsecuente, otras académicas y finalmente, a través del inquietante transitar por el sendero del conocimiento del maravilloso mundo de la HIDROGEOLOGÍA, cuyo significado entrañable, lo consigo caracterizar como el estado original de la conciencia del hombre y del alma del niño.

Desde el inicio de mi formación desde el marco de mi niñez, y luego de estabilizarse el desarrollo normal del crecimiento al lado de esos maravillosos seres (Padre-Madre) encontré mi "primer punto de inflexión" el cual, y como es natural, inicia su curva ascendente hacia la etapa de formación racional, analítica e intelectual con subsiguiente crecimiento profesional a hoy.

Con el paso del tiempo y de conocimientos vivenciales de mi entrañable familia, recuerdo con vehemencia nuestros frecuentes viajes que realizamos a la costa Atlántica en donde y tras la conducción de mi padre (la persona más sabia, excelente pedagogo y con desbordantes conocimientos matemáticos y físicos) viajábamos en una modesta camioneta marca Dodge modelo 56, de cuyos viajes recuerdo el tenebroso paso por el Alto de Ventanas, más propiamente en el sector de La Frijolera.

Desde entonces y sin imaginarme a esa temprana edad que finalmente terminaría como ingeniero geólogo, me preguntaba el porqué del excesivo fracturamiento y cantidad de agua que literalmente bañaban tanto la vía misma, como los afloramientos de esquistos, los que, y posteriormente, concebí de acuerdo a la dinámica de las rocas; que el tenebroso paso por Ventanas hace parte de la consabida formación Valdivia, trayecto este convertido por varias décadas en potenciales zonas de deslizamientos favorecidos por el control estructural local y regional del área, cuyo habitual tránsito fue altamente pavoroso para mi madre.

Con el camino por delante, el ímpetu y el deseo de conocimiento de lo que nos gusta hacer (al que le gusta le sabe), llegué a mi "segundo punto de inflexión", en donde la adrenalina racional y las ansias de conocimientos prácticos, se fueron plasmando en la realidad de la vida laboral.

Es en este lapso de mi vida donde encontré excepcionales experiencias personales y laborales con un sinnúmero de anécdotas, de las cuales, y a través de mis charlas con los estudiantes, poco a poco, he tratado de transmitirlas.

Consecuente con ese transitar febril por diferentes regiones del país y fuera de él, encontré diferentes formas de ver la vida sin despojarme de las palabras de infancia de mi Padre "si algo te gusta en la vida, dedícate con alma, corazón y sombrero". Fue así como mi vida empezó a direccionarse entre salidas de campo, reuniones, frecuentes charlas con mi primer jefe, el excelente profesor y director en ese entonces del Ingeominas y todas aquellas personas que de una y otra forma empezaron a formar el denominado "Modelo Conceptual" de un naciente empresario.

No es el espacio para enumerar todas las personas que coadyuvaron a mi formación profesional, sin embargo, quiero resaltar tanto a mi Padre; a Jorge Hernán Posada, Ingeniero Geólogo (mi primer jefe); al director de Proyectos de su empresa y finalmente a magnos amigos con quienes compartí y aún comparto diversos temas generales de ingeniería, entre otros, además de algunas apreciaciones finales de personas que dejaron huella en mí y que se encontraban inmersos en el inevitablemente "tercer punto de inflexión" en donde la curva de la vida se torna descendente hasta su deceso final pi..., pi..., pi..., piiiiiiiiiii; sonido este espantoso para mí y que enmarca la parafernalia de la tecnología hospitalaria y que aún permaneceen mis oídos con el deceso de mi adorada madre.

En ese proceso de crecimiento laboral, en donde el subconsciente racionaliza tanto las aptitudes como las actitudes hasta volverlas consientes, inexorablemente concluimos que "hacer empresa no es fácil" y que para ello, necesariamente se requiere de algo especial que todos bien conocemos, siempre y cuando se parta de la premisa del que: "al que le gusta le sabe".

Cuando se es independiente "entre comillas" es cuando más se depende, claro está: dependes de tu buena gestión, de tu aptitud y actitud, para el logro y satisfacción de lo que te apasiona, que en mi caso, cabe decir que "el agua es vida" y para mí el "agua subterránea es el amor de mi vida" con sus tres procedentes: exploración, prospección y construcción.

Retomando mis acostumbradas épocas vacacionales de adolescente con los viajes semestrales a la costa Atlántica y haciendo una sinopsis de lo vivido y compartido profesionalmente; no solo con mi padre, sino con amigos allegados algunos de ellos QEPD; si no también dentro del ambiente geológico que nos entrega la academia, logrÉ compartir temas vivenciales acerca de fallas geológicas no tan lógicas o a lo que a bien concluimos llamar como LA POBREZA DE LAS FALLAS GEOLÓGICAS, representada en el manejo que se le ha dado por más de 4 – 5 décadas al Alto de Ventanas, sector La Frijolera.

> "En el contexto geológico magistral, las fallas geológicas efectivamente existen pero no solo en el territorio nacional como muchos lo hacen creer, sino en todos los países del mundo."

Bitácora

En cada invierno que afronta el país debemos ahondar profundamente en los problemas de distinta índole que han causado tantas tragedias como la de Villatina, La Gabriela, Km 12 vía Medellín-Bogotá, Mocoa, Manizales y entre otras regiones de Antioquia y el resto del país a las cuales podríamos atribuirse a una alta pluviosidad, fallas geológicas, humanas o las anteriores combinadas.

En el contexto geológico magistral, las fallas geológicas efectivamente existen, pero no solo en el territorio nacional, como muchos lo hacen creer, sino en todos los países del mundo.

Está muy de moda entre ingenieros y otros profesionales del sector, atribuirle la mayoría de los desastres naturales a "eso es una falla geológica", generalmente sin tener los elementos suficientes para afirmar lo anterior. Aun en el caso de que sea una verdadera falla geológica (lo cual no lo es en la mayoría de los casos), debe analizarse profundamente y a un alto costo, puesto que hay muchos tipos de fallas con distintas direcciones, formas, etc. Unas de alto riesgo, otras de mediano riesgo y otras de bajo riesgo. Todas las anteriores deberían monitorearse permanentemente. La mayoría de las más grandes pueden ser monitoreadas satelitalmente, principalmente en su dirección, y en menor grado, en su forma y comportamiento.

En el mundo hay fallas famosas y bien conocidas; tal vez la más conocida y monitoreada es la falla de San Andrés, en California, la cual tiene en su recorrido tres de las ciudades más importantes de los EE. UU, su dirección es bien conocida, pero no tanto su forma y comportamiento interno.

En Colombia existen también grandes fallas tales como la falla de OCA Maicao-Riohacha (actualmente activa), la falla Bucaramanga-Santa Marta, la falla Guaimaral, la falla Cesar Ranchería, etc. con una bien conocida dirección, en cuyos departamentos de la Guajira y el Cesar se han realizado algunas investigaciones estructurales al respecto y recientemente evaluaciones hidrogeológicas por el grupo interdisciplinario bajo la dirección de la profesora Teresita Betancur en su estudio sobre el Modelo Conceptual y Plan de manejo del Río Ranchería – Guajira.

También hay otras fallas de menor tamaño que pueden ser detectables en filones (oro,

plata, cobre, mantos de carbón, túneles, perforaciones etc.), con desplazamientos de centímetros hasta varios metros.

Las fallas humanas son las más comunes de todas pero las cuales casi nadie quiere reconocer.

Tengo algunos ejemplos, los cuales conozco, quiero mencionar y compartir, que son similares a muchas zonas del país. Estos ejemplos son Amagá, Venecia, Bolombolo, carretera Santa Fe de Antioquia y algunos problemas viales y de drenajes.

Haciendo alusión a los problemas viales, raudamente invade mi recuerdo a ese hombre pragmático (mi padre) que inspirado en el valor práctico de las cosas a fin de batutiar cualquier vicisitud, acorde a su gestor William James, me contaba en forma anecdótica cuando se desempeñaba como director de la Secretaría de Obras Públicas del departamento, cómo un compañero de trabajo trajo a colación precisamente la construcción de vías municipales y departamentales en cuanto al avance tecnológico de ese entonces: "Cómo te parece Jesús, que en la construcción misma de las vías, ya no se requiere de peraltes, porque ya los vehículos vienen incorporados con él". Parece más un chiste, pero cualquier parecido con la realidad… increíble y sin palabras.

Las rocas que afloran en la primera región (Amagá) son principalmente limos y arcillas (algunas de ellas hinchables), todas las cuales son muy deleznables. Estas rocas absorben agua en las épocas lluviosas hasta saturarse totalmente. Las escorrentías causadas por estas rocas saturadas de agua son caracterizadas por el gran volumen de agua mezclada con el material deleznable (limos y arcillas) que es arrastrado por los cauces de las quebradas y otras tierras durante las lluvias y un corto tiempo después. Esto causa sedimentación y taponamiento en la parte de los cauces con menor velocidad de arrastre. Este taponamiento desvía los cauces originales de las quebradas en distintas direcciones infringiendo grandes daños humanos y materiales en las infraestructuras (habitacionales, viales, eléctricas, etc.). Estos comportamientos de limos y arcillas son también dañinos en las épocas de verano al no tener las quebradas un flujo de aguas permeable y permanente (época de estiaje) debido a la escasez de lluvias y/o a la carencia de un manto poroso y permeable que absorba agua y regule su comportamiento durante las distintas épocas del año.

En gran parte los problemas de las distintas regiones del país y del mundo con este tipo de rocas, son fallas humanas siendo la más importante la deforestación inclemente. Guaduales, árboles y distinto tipo de vegetación adecuados para absorber el agua y controlarla fueron sembrados por nuestros ancestros ("sabios") con el objetivo de proteger las cuencas altas de las quebradas para evitar la erosión de limos y arcillas y controlar las aguas. Estos sembríos son unos verdaderos guardianes en la época de invierno y verano.

Estas tierras altas de guaduales y vegetación natural fueron vendidas por debajo de su costo comercial con la condición de proteger la deforestación de los mismos, lo cual nunca se cumplió.

Finalmente, y atribuibles a fallas humanas, no puedo dejar de lado el episodio ocurrido a finales de la década de los ochenta, cuando me encontraba al frente de un proyecto de perforación para construcción de un pozo profundo para captación y aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo; en donde y consecuente con la metodología desarrollada para construcción de pozos, nos encontrábamos en la etapa de perforación exploratoria y toma de registros eléctricos del pozo, a lo cual y subsiguiente al análisis detallado del perfil estratigráfico de la sección perforada y de registros de resistividad, gamma ray y autopotencial, finalmente establecí que el pozo no debía de continuarse con su construcción.

Exponiendo claramente mis razones para la no construcción del pozo, los altos directivos de la empresa contratante impusieron su decisión de continuar con la construcción misma del pozo, a lo cual desconocieron mis conceptos técnicos, arguyendo que su asesor externo (gringo - quien había establecido previamente cantidad y calidad de agua en los diferentes estratos por radiestesia o rabdomancia) se le pagaba en dólares y como bien conocen ustedes; Coca-Cola mata tinto.

Después de tan inconcebible decisión de cuello blanco, terminé mis procesos de ampliación, entubado, engravillado y lavado del pozo a lo cual, direccioné los elementos necesarios a fin de establecer el caudal del pozo mediante prueba de bombeo.

No sé expresarles claramente qué sentía internamente, si decepción, aflicción o la inminente posibilidad incluso de ser un desempleado más.

Finalmente, se llegó a la hora de la verdad e inexorablemente y como esperaba, "el pozo estaba más seco que escupa de momia" anécdota esta que acuso a mis estudiantes para interrumpir sus pestañaditas en mis pláticas de aguas subterráneas.

Otros problemas geológicos - humanos (taludes, drenajes, e infiltraciones de aguas) son los que frecuentemente observamos en las diferentes vías municipales e interdepartamentales en donde, y de diversos viajes realizados a Urabá con tránsito en Santa Fe de Antioquia, corto tiempo después de la inauguración del Túnel de Occidente para determinar entre otras, la posibilidad de instalación de mallas para protección de bloques en el talud, me sorprendí al ver un letrero que decía "zona geológicamente inestable", me bajé a chequear la roca y no vi nada anormal fuera de unas pequeñas fisuras. Lo que sí vi bastante anormal fueron las alturas e inclinaciones de los taludes (casi hasta los 90°) sin ninguna protección. Tampoco había una sola terraza de alivio. Este tipo de problema lo vi repetidamente en la carretera Santa Fe–La Melonera (Antioquia) pero con más avisos de "zonas geológicamente inestables". No vi taludes de inclinación aceptable, no vi terrazas de alivio, no vi buenos drenajes, no vi mallas, pernos etc. Si algún talud puede sostenerse en estas condiciones por un tiempo racional, reconocería mi error de apreciación. En la actualidad el área descrita, presenta algunas obras de mitigación.

En cuanto a los drenajes, estas son otras obras más que vitales para la infraestructura nacional y mundial.

En muchos casos, se menosprecia la gran importancia de los buenos drenajes en las obras civiles y se opina al respecto, sin conocimiento alguno, como es el caso del Alto de Ventanas – La Frijolera, expuesto al inicio de este artículo y en la actualidad en proceso de control y mitigación.

Se dice "hagamos una media luna allí", "una espina de pescado allá", "una cuneta en concreto a los bordes de las carreteras" etc., todo lo anterior, si es una obra grande o simplemente "hagamos unas cunetas de drenajes", para cualquier otra obra menor.

La mayoría de los buenos expertos en construcciones civiles no comienzan una obra sin ver cómo se van a comportar los drenajes.

Estos drenajes deben ser diseñados y construidos por ingenieros especializados que estén permanentemente actualizados en el tema tanto nacional como mundial.

Tenemos unas tradiciones las cuales son comprensibles, pero no compartibles, tales como inaugurar un tramo o una carretera pavimentada, en vez de inaugurar un buen drenaje (anterior a las pavimentaciones y construcciones de las carreteras), el cual no se ve. También se prefiere inaugurar acueductos bien dotados (algunos de ellos sin evaluar la fuente bien sea superficial o subterránea) en vez de buenos alcantarillados, los cuales tampoco se ven.

Ejemplos de lo anterior hay muchos que casi todos conocen, pero prefiero no referirme a ellos.

Los resultados de estos trabajos mal diseñados y construidos no se vienen a saber y conocer sino hasta un tiempo después, cuando la población comienza a hacer manifestaciones de descontento contra dichas obras. Como ejemplo de ello, puedo citar el severo daño geológico-estructural que se presentó en el barrio El Esmeraldal del municipio de Amagá a fin de controlar un sinnúmero de problemas geológicos de reptación y geotécnicos, entre otros en donde pudimos establecer mediante estudios Geológico-Geotécnicos (con monitoreo e instalación de inclinómetros), complejos factores de afectación, entre otros, la minería subterránea; lo que en la mayoría de los casos ya se conoce, siendo solo evidenciada a través de las catástrofes ocurridas. A lo anterior, solo podemos decir que "la pobreza es costosa" o los presupuestos de "evaluación e investigación" no están bien direccionados, sobre lo que puede ser "un proceso de afectación anunciado".

Los problemas de infiltraciones (principalmente en el Valle de Aburrá) son virtualmen-

te representados por el comportamiento de las dos vertientes principales, la oriental y la occidental.

En la vertiente occidental la mayoría de las rocas (Batolito de Altavista) son generalmente deleznables y meteorizadas, las cuales son relativamente fáciles de controlar. La zona sur de esta vertiente (Ancón-La Estrella) es una zona muy complicada geológicamente debido a su variedad de rocas y fisuramientos. Hay también una alta posibilidad de que existan dos Valles de Aburrá, uno sobrepuesto al otro, separados por unas lavas volcánicas de espesor a establecer (comunicación verbal del Ing. Jorge Hernán Posada).

La vertiente oriental del Valle de Aburrá es más complicada debido a que tiene rocas más competentes (más duras). Estas rocas se fracturan fácilmente produciendo fisuras que infiltran gran parte de las aguas superficiales causando aludes y deslizamientos los cuales producen tantos perjuicios humanos como materiales y hasta pérdida de vidas como el caso reciente del deslizamiento en La Gabriela y en el kilómetro 14 + 350 ocurrido el 27 de octubre del 2016, con remoción de más de 60.000 metros cúbicos de material saturado.

Para estudiar esta vertiente se considera necesario crear una comisión de expertos serios y confiables para hacer dos actividades sucesivas.

La primera, consecuente con un estudio completo y detallado de las aguas superficiales y semi superficial de la vertiente; conducentes a establecer aguas caracterizadas y mapeadas principalmente como quebradas, afluentes, alcantarillados, acueductos, tanques de almacenamiento, tanques sépticos, tuberías y/o mangueras rotas y fisuras en las rocas etc. Esta fase consecuentemente requiere de reparaciones de lo determinado en su ejecución misma.

La segunda fase de esta actividad, se considera de relevante evaluación en razón y de acuerdo a la reciente caracterización hidrogeológica del Valle de Aburrá en donde se determina como Unidad Hidrogeológica y de interés por su alto grado de fracturamiento, al cuerpo de Dunita cuya unidad en gran parte se encuentra cubierta por depósitos lateríticos, coluviones y localmente por una capa delgada de cenizas volcánicas, lo cual dificulta encontrar afloramientos continuos; cuyos mejores afloramientos se determinan al inicio de la autopista Medellín- Bogotá en donde estructuralmente, tanto las dunitas como rocas derivadas, presentan en general un alto grado de fracturamiento que localmente puede llegar a formar brechas tectónicas.

El tema más complejo en relación al fisuramiento de estas rocas DURAS o porosidad secundaria propiamente se centra en la dinámica del ciclo hidrogeológico en donde y tal como lo habíamos comentado, la posible unidad hidrogeológica se alimenta de aguas lluvias, no sé en qué grado de participación de tuberías reventadas, tanques sobre saturados los que a su vez y sin el debido estudio hidrogeológico detallado, pueden favorecen la generación de grandes deslizamientos y/o grandes tragedias.

Retomando un viejo refrán de nuestros abuelos para finalizar este artículo, quiero mencionar que “lo más costoso que existe en la vida es la pobreza” a lo que, y consecuentemente, se requiere de mecanismos efectivos para la adquisición de recursos económicos para direccionar las respectivas evaluaciones hidrogeológicas con sus derivados en construcciones civiles e hidráulicas para su captación, manejo y protección del recurso, bien sea a través de grupos interdisciplinarios de las universidades, corporaciones autónomas con participación directa de entes gubernamentales.

Finalmente, les comparto que direccionaré mis esfuerzos a la obtención de mi espacio sabático de investigación, antes de que me aborde el inesperado e imprescindible “tercer punto de inflexión” que como bien ya pueden deducir, corresponde al último punto donde el descenso es acorde al ciclo vital del ser racional, siendo este de carácter irrevocable e inevitable.

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

1803

Facultad de Ingeniería